

24.09.2004

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

REC'D 11 NOV 2004

WIPO PCT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 3 年 9 月 2 5 日
Date of Application:

出 願 番 号 特 願 2 0 0 3 - 3 3 3 2 1 7
Application Number:
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 3 - 3 3 3 2 1 7]

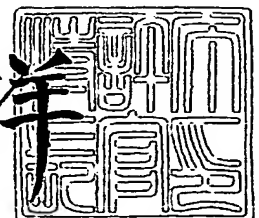
出 願 人 松 下 電 器 産 業 株 式 有 限 公 司
Applicant(s):

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

2 0 0 4 年 1 0 月 2 8 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

小 川 洋



【書類名】 特許願
【整理番号】 2030250079
【提出日】 平成15年 9月25日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 H01L 33/00
【発明者】
 【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内
 【氏名】 川口 靖利
【発明者】
 【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内
 【氏名】 嶋本 敏孝
【発明者】
 【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内
 【氏名】 石橋 明彦
【発明者】
 【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内
 【氏名】 木戸口 勲
【発明者】
 【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内
 【氏名】 横川 俊哉
【特許出願人】
 【識別番号】 000005821
 【氏名又は名称】 松下電器産業株式会社
【代理人】
 【識別番号】 100097445
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 岩橋 文雄
【選任した代理人】
 【識別番号】 100103355
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 坂口 智康
【選任した代理人】
 【識別番号】 100109667
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 内藤 浩樹
【手数料の表示】
 【予納台帳番号】 011305
 【納付金額】 21,000円
【提出物件の目録】
 【物件名】 特許請求の範囲 1
 【物件名】 明細書 1
 【物件名】 図面 1
 【物件名】 要約書 1
 【包括委任状番号】 9809938

【書類名】特許請求の範囲

【請求項 1】

p 型窒化物半導体層、

n 型窒化物半導体層、および

前記 p 型窒化物半導体層と前記 n 型窒化物半導体層との間に挟まれている活性層を備え、

前記 p 型窒化物半導体層は、

A l を含むアンドープ窒化物半導体層と、

A l および M g を含む第 1 p 型窒化物半導体層と、

M g を含む第 2 p 型窒化物半導体層とを有し、

前記アンドープ窒化物半導体層は、前記活性層と前記第 1 p 型窒化物半導体層との間に挟まれており、

前記第 1 p 型窒化物半導体層は、前記アンドープ窒化物半導体層と前記第 2 p 型窒化物半導体層との間に挟まれており、

前記第 2 p 型窒化物半導体層は、前記アンドープ窒化物半導体層および前記第 1 p 型窒化物半導体層のいずれのバンドギャップよりも大きいバンドギャップを有する、窒化物半導体発光素子。

【請求項 2】

n 型窒化物半導体層上に活性層を形成する活性層形成工程、および

前記活性層形成工程の後に、前記活性層上に p 型窒化物半導体層を形成する p 型窒化物半導体層形成工程を有し、

前記 p 型窒化物半導体層形成工程は、

p 型不純物を供給せず、A l を有する原料ガスを供給することによって、A l を含むアンドープ窒化物半導体層を形成するアンドープ窒化物半導体層形成サブ工程と、

前記アンドープ窒化物半導体層形成サブ工程の後に、M g を有する原料ガスおよび A l を有する原料ガスを共に供給することによって、A l および M g を含む第 1 p 型窒化物半導体層を形成する第 1 p 型窒化物半導体層サブ工程と、

前記第 1 p 型窒化物半導体層サブ工程の後に、M g を有する原料ガスを供給することによって、前記アンドープ窒化物半導体層および前記第 1 p 型窒化物半導体層のいずれのバンドギャップよりも大きいバンドギャップを有する第 2 p 型窒化物半導体層形成サブ工程と

を有する、窒化物半導体発光素子の製造方法。

【請求項 3】

基板上に第 1 の化合物半導体からなる n 型クラッド層を形成する工程と、

前記 n 型クラッド層上に、バンドギャップエネルギーが前記第 1 の化合物半導体よりも小さい第 2 の化合物半導体からなる活性層を形成する工程と、

前記活性層の上に、バンドギャップエネルギーが前記第 2 の化合物半導体よりも大きい第 3 の化合物半導体からなる p 型電子オーバーフロー抑制層を形成する工程と

前記 p 型電子オーバーフロー抑制層の上に、バンドギャップエネルギーが前記第 2 の化合物半導体よりも大きく、第 3 の化合物半導体よりも小さい第 4 の化合物半導体からなる p 型クラッド層を形成する工程を備え、

前記活性層と前記 p 型電子オーバーフロー抑制層の間にバンドギャップエネルギーが前記第 3 の化合物半導体よりも小さい A l を含む第 5 の化合物半導体からなる p 型アクセプター不純物ドーピング開始層を形成する工程とを備えることを特徴とする化合物半導体発光素子の製造方法。

【請求項 4】

前記化合物半導体が窒素、砒素、リンの少なくとも一つを含むことを特徴とする請求項 3 に記載の化合物半導体発光素子の製造方法。

【請求項 5】

前記 p 型アクセプター不純物が亜鉛、マグネシウム、ベリリウム、カドミウムの少なくとも一つであることを特徴とする請求項 3 に記載の化合物半導体発光素子の製造方法。

【書類名】 明細書

【発明の名称】 化合物半導体素子およびその製造方法

【技術分野】

【0001】

本発明は光電子情報処理分野などへの応用が期待されている半導体発光素子、バイポーラ型電子素子などの化合物半導体光電子素子およびその製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

V族元素に窒素(N)を有する窒化物半導体は、そのバンドギャップの大きさから、短波長発光素子の材料として有望視されている。中でも窒化ガリウム系化合物半導体(GaN系半導体: AlGaInN)は研究が盛んに行われ、青色発光ダイオード(LED)、緑色LEDが既に実用化されている。また、光ディスク装置の大容量化のために、400nm帯に発振波長を有する半導体レーザが熱望されており、GaN系半導体を材料とする半導体レーザが注目され現在では実用レベルに達しつつある。

【0003】

上記GaN系半導体レーザ構造は、従来例(例えば特許文献1、および非特許文献1、および非特許文献2を参照)によれば、図1、図2で示すような素子構造から構成されている。

【0004】

まず図1(a)に関して説明する。レーザ構造の結晶成長には有機金属気相成長法(MOVPE法)を用いている。選択横方向成長技術を用いて作製した低転位GaN(ELO(Epitaxial Lateral Overgrowth)-GaN)基板101上にn-Al_{0.015}Ga_{0.985}Nコンタクト層102、Ga_{0.95}In_{0.05}Nクラッド抑制層103、n-Al_{0.15}Ga_{0.85}N/n-GaN超格子(SLs)クラッド層104、GaN光ガイド層105、Ga_{0.86}In_{0.14}N/Ga_{0.99}In_{0.01}N多重量子井戸(MQW)活性層106、p-Al_{0.20}Ga_{0.80}Nキャップ層107、GaN光ガイド層108、p-Al_{0.15}Ga_{0.85}N/p-GaN-SLsクラッド層109、p-GaNコンタクト層110を順次結晶成長し、レーザ構造が形成されている。図1(b)にはこのレーザ構造の伝導帯側バンド構造の模式図を示す。このレーザ構造の特徴は、結晶成長中における活性層からのIn蒸発の抑制と活性層からの電子のオーバーフローを抑制するために最も禁制帯幅が大きいp-Al_{0.20}Ga_{0.80}Nキャップ層107がMQW活性層106直上に形成されていることである。

【0005】

次に、図2(a)に関して説明する。図1(a)と同様にELO-GaN基板201上にn-GaNコンタクト層202、n-Al_{0.08}Ga_{0.92}Nクラッド層203、GaN光ガイド層204、Ga_{0.90}In_{0.10}N/Ga_{0.98}In_{0.02}N-MQW活性層205、GaInN中間層206、AlGaInN中間層207、p-Al_{0.16}Ga_{0.84}N電子ブロック層208、p-Al_{0.15}Ga_{0.85}N/p-GaN-SLsクラッド層209、p-GaNコンタクト層210を順次結晶成長し、レーザ構造が形成されている。このレーザ構造の伝導帯側バンド構造の模式図を図2(b)に示す。このレーザ構造の特徴は、p型不純物をドーピングした層による光吸収損失をできるだけ低減するためにMQW活性層205とp-Al_{0.16}Ga_{0.84}N電子ブロック層208の間にGaInN中間層206、AlGaInN中間層207と呼ばれるスペーサー層を形成していることである。また、このGaInN中間層206、AlGaInN中間層207が光ガイド層としても作用するため、図1で示したレーザ構造とは異なり、p側の光ガイド層を特別に設けていない。

【0006】

これらの構造において、いずれも室温における出力30mWでの連続発振が報告されている。しかしながら、図1に示す構造では、レーザ構造中で最も格子定数の大きい活性層の直上に、最も格子定数が小さいAlGaInNキャップ層が接し、大きな歪が活性層に加えられることになり、レーザ素子作製時の均一性、再現性があまり良好ではなかった。図2

に示す構造では活性層とAlGaIn電子ブロック層（図1のAlGaInキャップ層と同一の機能を果たす）の間に中間層が挿入されており、活性層に印加される歪が効果的に緩和され、レーザ素子作製時の均一性、再現性改善において非常に有効な構成となっている。

【0007】

しかしながら、これらの構造で共通するのはp型結晶を実現するアクセプター不純物のドーピングを、レーザ構造中で最もバンドギャップが大きいAlGaInキャップ層（AlGaIn電子ブロック層）から開始していることである。窒化物系半導体ではアクセプター不純物として通常マグネシウム（Mg）がよく用いられる。そしてこのMgにはメモリー効果と呼ばれる現象が発生することがよく知られている。

【0008】

メモリー効果とは、結晶成長中に不純物ドーピングを開始した時点から、実際に結晶中にドーピングされた不純物を取り込まれるまでに時間遅れが生じるため、意図した場所よりも結晶の表面側にドーピング開始位置がずれることや、不純物の取り込まれ方が急峻ではなく裾を引いていること、また、その逆に結晶成長中にドーピングを終了した時点から、実際に結晶中にドーピングされた不純物の取り込まれが終了するまでに時間遅れが生じるために、意図した場所よりも結晶の表面側にドーピング終了位置がずれることや、不純物の切れ方が急峻ではなく裾を引いていることを総称した現象である。

【0009】

Mgのドーピング開始位置をレーザ構造中で最もバンドギャップの大きいAlGaInキャップ層（AlGaIn電子ブロック層）の成長開始位置に合わせた場合、このメモリー効果が発生することで、AlGaInキャップ層（AlGaIn電子ブロック層）中にMg濃度不均一が生じる。一般にアクセプター不純物の活性化エネルギーはバンドギャップエネルギーが大きくなるほど、言い換えれば、結晶中のAl組成が高くなるほど大きくなる傾向がある。メモリー効果に起因したMgドーピング遅れによって発生したMg取り込まれの急峻性の低下が、結果としてMg濃度不均一を引き起こし、これはすなわちレーザ構造中にMgのドーピングが不足した領域を形成することであり、レーザ素子作製時の均一性、再現性にとって好ましくないものである。

【0010】

別の従来例（特許文献2参照）ではp型GaIn結晶を作製する場合に $2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下のAlをドーピング（バンドギャップエネルギーがGaInから変化しない程度なのでAlGaIn混晶化ではない）することで、Mgがドーピングされたことによる結晶の歪を緩和し、アクセプター不純物であるMgをGaIn結晶中のGa原子位置に効果的に配置し、高ホール濃度が得られると説明している。しかしながら、Alドーピングを施してもMg濃度自身は一定値であり、最適なAl濃度を制御すれば、アクセプターの活性化率が向上して高ホール濃度を実現できるが、ドーピング界面におけるメモリー効果の抑制と、制御性、急峻性の高いアクセプター不純物プロファイルに関しては説明されていない。

【0011】

また、別の従来例（特許文献3参照）ではMgドーピングの急峻性を向上させるために、AlGaIn層/GaN層もしくはGaInN層/GaN層の多重ヘテロ構造（超格子構造）を作製し、そこにMgドーピングを行っている。この方法によればMgを一様にドーピングしていても、GaN層とAlGaIn層もしくはGaN層とGaInN層とのヘテロ界面のAlGaIn層もしくはGaInN層の基板側（成長開始側）の界面近傍でMg濃度が局所的に増大する。そして、このMg濃度が局所的に増大する現象を利用し、積極的に界面を形成して急峻性を向上させている。しかしながら、この方法では急峻性は向上しているものの、バンドギャップの大きいAlGaIn層中では依然としてMgドーピング遅れが生じており、AlGaIn層中にはMg濃度不均一が生じている。また、多数のヘテロ界面を形成することで結晶中にはMg濃度の過不足が不規則に発生し、制御性、再現性が非常に低い。

【0012】

これらのことを鑑み、図3（a）に示すようなレーザ構造を作製してきた。エアギャッ

ブ構造を有する ELO-GaN 基板 (ABLEG (Air-Bridged Lateral Epitaxial Growth) - GaN 基板) 301 上に n-GaN コンタクト層 302、n-Al_{0.07}Ga_{0.93}N クラッド層 303、n-GaN 光ガイド層 304、Ga_{0.90}In_{0.10}N/Ga_{0.98}In_{0.02}N-MQW 活性層 305、GaInN 中間層 306、GaN 中間層 307、p-GaN アクセプター不純物ドーピング開始層 308、p-Al_{0.16}Ga_{0.84}N 電子オーバーフロー抑制層 309、p-Al_{0.14}Ga_{0.86}N/p-GaN-SLs クラッド層 310、p-GaN コンタクト層 311 を順次結晶成長している (ABLEG については特許文献 4 を参照)。

【0013】

このレーザ構造の伝導帯側バンド構造の模式図を図 3 (b) に示す。このレーザ構造の特徴はレーザ構造中で最もバンドギャップが大きい p-Al_{0.16}Ga_{0.84}N 電子オーバーフロー抑制層 309 でアクセプター不純物のドーピングを開始するのではなく、その前に p-GaN アクセプター不純物ドーピング開始層 308 を設けていることである。この p-GaN アクセプター不純物ドーピング開始層 308 中にはメモリー効果に起因したドーピング遅れが存在するが、それを考慮した膜厚設計を行うことで、p-Al_{0.16}Ga_{0.84}N 電子オーバーフロー抑制層 309 の Mg ドーピング濃度を一定にすることができるようになる。

【特許文献 1】 特開平 10-126006 号公報

【特許文献 2】 特開 2000-143396 号公報

【特許文献 3】 特開 2002-198314 号公報

【特許文献 4】 特開 2002-009004 号公報

【特許文献 5】 特開平 6-283825 号公報

【非特許文献 1】 Japanese Journal of Applied Physics, Vol.38, L226-L229 (1999)

【非特許文献 2】 physica status solidi (a) 194, No.2, 407-413 (2002)

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0014】

しかしながら、これら従来の成長方法ではレーザ構造中で最もバンドギャップエネルギーが大きい p-Al_{0.16}Ga_{0.84}N 電子オーバーフロー抑制層 309 の Mg 濃度は一定値となるものの、メモリー効果に起因してドーピングの開始及び終了に時間遅れが生じるために Mg のドーピングプロファイルの急峻性が低く、結果としてクラッド層の Mg 濃度に対して 50% から 70% 程度の Mg 濃度しか p-Al_{0.16}Ga_{0.84}N 電子オーバーフロー抑制層 309 にはドーピングされておらず Mg の絶対量としては不足している。このため、活性層へのホールの注入効率が低下し十分な低しきい値電流駆動を再現性、均一性良く実現することが困難である。また、pn 界面が活性層位置からずれることでしきい値電圧の上昇を招いた。

【0015】

p-Al_{0.16}Ga_{0.84}N 電子オーバーフロー抑制層 309 の Mg 濃度を高めるためには p-GaN-アクセプター不純物ドーピング開始層 308 の膜厚を最適な状態まで厚くすればよく、こうすることで p-Al_{0.16}Ga_{0.84}N 電子オーバーフロー抑制層 309 の Mg 濃度はクラッド層の Mg 濃度と同程度にできる。しかしながら、p-GaN-アクセプター不純物ドーピング開始層 308 中にも多くの Mg が存在することになり、レーザ動作時の電流印加や、レーザに加えられた熱、磁界によりこの Mg が容易に活性層側へ拡散する。この結果、Mg は活性層付近にまで到達し、活性層近傍で光吸収損失を引き起こし、レーザの信頼性に悪影響を及ぼし、再現性、均一性良く、高い信頼性を有するレーザ素子を実現することが困難であった。

【0016】

本発明は上記の事情を鑑みてなされたものであり、信頼性の高い窒化物半導体素子を歩留まり良く作製する方法を提供するものである。特に光ディスク用レーザや照明用発光ダ

イオード、通信・情報処理用バイポーラ型電子素子などの化合物半導体光電子素子への応用において効果的である。

【課題を解決するための手段】

【0017】

本発明の第一の手段は、半導体発光素子を結晶成長する場合に、活性層と電子オーバーフロー抑制層の間に活性層よりもバンドギャップエネルギーが大きく、電子オーバーフロー抑制層よりもバンドギャップエネルギーが小さい、少なくとも Al を含んだ化合物半導体から構成される p 型アクセプター不純物ドーピング開始層を設けることである。

【0018】

具体的には、上記課題を解決する第 1 の手段である本発明に係る窒化物半導体発光素子は、

p 型窒化物半導体層、

n 型窒化物半導体層、および

p 型窒化物半導体層と n 型窒化物半導体層との間に挟まれている活性層を備え、

p 型窒化物半導体層は、

Al を含むアンドープ窒化物半導体層 (408) と、

Al および Mg を含む第 1 p 型窒化物半導体層 (409) と、

Mg を含む第 2 p 型窒化物半導体層 (410) とを有し、

アンドープ窒化物半導体層は、活性層と第 1 p 型窒化物半導体層との間に挟まれており、

第 1 p 型窒化物半導体層は、アンドープ窒化物半導体層と第 2 p 型窒化物半導体層との間に挟まれており、

第 2 p 型窒化物半導体層は、アンドープ窒化物半導体層および第 1 p 型窒化物半導体層のいずれのバンドギャップよりも大きいバンドギャップを有する。

【0019】

このような窒化物半導体発光素子の製造方法としては、

n 型窒化物半導体層上に活性層を形成する活性層形成工程、および

活性層形成工程の後に、活性層上に p 型窒化物半導体層を形成する p 型窒化物半導体層形成工程

を有し、

p 型窒化物半導体層形成工程は、

p 型不純物を供給せず、Al を有する原料ガスを供給することによって、Al を含むアンドープ窒化物半導体層を形成するアンドープ窒化物半導体層形成サブ工程と、

アンドープ窒化物半導体層形成サブ工程の後に、Mg を有する原料ガスおよび Al を有する原料ガスを共に供給することによって、Al および Mg を含む第 1 p 型窒化物半導体層を形成する第 1 p 型窒化物半導体層サブ工程と、

第 1 p 型窒化物半導体層サブ工程の後に、Mg を有する原料ガスを供給することによって、アンドープ窒化物半導体層および第 1 p 型窒化物半導体層のいずれのバンドギャップよりも大きいバンドギャップを有する第 2 p 型窒化物半導体層形成サブ工程とを有する窒化物半導体発光素子の製造方法を一例として挙げるができる。

【0020】

より具体的には、本発明に係る化合物半導体発光素子の製造方法は、

基板上に第 1 の化合物半導体からなる n 型クラッド層を形成する工程と、

n 型クラッド層上に、バンドギャップエネルギーが第 1 の化合物半導体よりも小さい第 2 の化合物半導体からなる活性層を形成する工程と、

活性層の上に、バンドギャップエネルギーが第 2 の化合物半導体よりも大きい第 3 の化合物半導体からなる p 型電子オーバーフロー抑制層を形成する工程と

p 型電子オーバーフロー抑制層の上に、バンドギャップエネルギーが第 2 の化合物半導体よりも大きく、第 3 の化合物半導体よりも小さい第 4 の化合物半導体からなる p 型クラ

ッド層を形成する工程を備え、

活性層と p 型電子オーバーフロー抑制層の間にバンドギャップエネルギーが第 3 の化合物半導体よりも小さい Al を含む第 5 の化合物半導体からなる p 型アクセプター不純物ドーピング開始層を形成する工程とを備えることを特徴とする。

【0021】

化合物半導体は窒素、砒素、リンの少なくとも一つを含むことが好ましい。

【0022】

p 型アクセプター不純物は亜鉛、マグネシウム、ベリリウム、カドミウムの少なくとも一つであることが好ましい。

【発明の効果】

【0023】

上記構成により、ドーピング遅れのない p 型アクセプター不純物のプロファイルを実現でき、急峻なドーピング界面が実現できる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0024】

以下本発明の実施の形態について、図面を参照しながら説明する。

【0025】

(実施の形態 1)

本発明の一実施形態について図面を参照しながら説明する。本発明の製造方法は、窒化物半導体の成長方法は MOVPE 法に限定するものではなく、ハイドライド気相成長法 (HVPE 法) や分子線エピタキシー法 (MBE 法) など、化合物半導体結晶を成長させるためにこれまで提案されている全ての方法に適用できる。

【0026】

図 4 は本発明の一実施形態に係る窒化物半導体レーザ素子の断面構造を示している。ここでは半導体レーザ素子の構成をその結晶成長プロセスと同時に説明する。結晶成長には MOVPE 法を用いる。成長圧力は減圧から、大気圧 (1 atm)、大気圧以上の加圧のいずれでも良く、各層において最適な圧力に切りかえても良い。また、原料を基板に供給するためのキャリアガスは少なくとも窒素 (N_2) または水素 (H_2) 等の不活性ガスを含みガスで供給される。以下に結晶成長プロセスを示す。

【0027】

まず、n-GaN 基板 401 の表面を有機溶剤、酸によって清浄化した後、サセプター上に設置し十分に N_2 で置換する。 N_2 置換が終了した後、 N_2 雰囲気中、 $10^\circ\text{C}/10$ 秒の昇温レートで 1000°C まで昇温した後、キャリアガスを H_2 に切り替え、同時にアンモニア (NH_3) を供給し、1 分間基板表面のクリーニングを行う。その後、トリメチルガリウム (TMG) とモノシラン (SiH_4) を供給し、 $2\mu\text{m}$ 厚の n-GaN 層 402 の成長、引き続いてトリメチルアルミニウム (TMA) を加え、 $1.5\mu\text{m}$ 厚の n-Al_{0.05}Ga_{0.95}N クラッド層 403 の成長を行う。その後、TMA の供給を停止し、n-GaN 光ガイド層 404 を $0.1\mu\text{m}$ 成長する。

【0028】

n-GaN 光ガイド層 404 成長後、キャリアガスを N_2 に変え NH_3 の供給を停止し、成長温度を 780°C まで降温する。成長温度が 780°C で安定後、まず NH_3 を供給し、続いて TMG とトリメチルインジウム (TMI) を供給し、Ga_{0.90}In_{0.10}N/Ga_{0.98}In_{0.02}N-MQW 活性層 405 を成長する。Ga_{0.90}In_{0.10}N 井戸層厚は 3nm 、Ga_{0.98}In_{0.02}N 障壁層厚は 7nm であり、井戸層数は 3 である。活性層には意図的なドーピングはしていない。

【0029】

引き続いて 30nm 厚のノンドープ Ga_{0.98}In_{0.02}N 中間層 406、 30nm 厚のノンドープ GaN 中間層 407 を成長し、いったん TMG の供給を停止する。その後、 N_2 と NH_3 を供給した状態ですばやく 1000°C まで昇温し、成長温度が 1000°C に到達後、キャリアガスを N_2 と H_2 の混合ガスに変更し、 N_2 と H_2 と NH_3 を供給した状態にす

る。

【0030】

そして直ちにTMGとTMAを供給して40nm厚のノンドープ $\text{Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ 中間層408、ビスシクロペンタジエニルマグネシウム(Cp_2Mg)をMg原料としてドーピングした $\text{p-Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ アクセプター不純物ドーピング開始層409を5nm成長する。その後、10nm厚の $\text{p-Al}_{0.16}\text{Ga}_{0.84}\text{N}$ 電子オーバーフロー抑制層410を成長し、すばやくキャリアガスを H_2 のみに切り替え、 $\text{p-Al}_{0.10}\text{Ga}_{0.90}\text{N}$ (2nm厚)/ p-GaN (2nm厚)-SLsクラッド層(120ペア)411、50nm厚の p-GaN コンタクト層412を順次積層する。

【0031】

その後、 $\text{p-Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ アクセプター不純物ドーピング開始層409、 $\text{p-Al}_{0.16}\text{Ga}_{0.84}\text{N}$ 電子オーバーフロー抑制層410、 $\text{p-Al}_{0.10}\text{Ga}_{0.90}\text{N}$ / p-GaN -SLsクラッド層411、 p-GaN コンタクト層412をストライプ状に加工し、ストライプの両脇を絶縁膜である SiO_2 415で覆い、電流注入領域を形成する。ストライプ幅は2~3ミクロン程度である。絶縁膜の開口部の p-GaN コンタクト層412表面と、絶縁膜の一部にはp電極413が設けられている。

【0032】

また、 n-GaN 層402の一部が露出するまでエッチングを行った表面には、n電極414が形成されている。 n-GaN 基板の裏面にn電極を形成してももちろん良い。 p-GaN コンタクト層411はp電極413とのコンタクト抵抗低減のためMg濃度が $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ から $5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 含まれていることが特徴である。このようにして図4に示される窒化物半導体レーザ素子を作製できる。

【0033】

本構造においてn電極414とp電極413の間に電圧を印加すると、MQW活性層405に向かってp電極413から正孔がn電極414から電子が注入され、MQW活性層405で利得を生じ、410nmの波長でレーザ発振を起こす。

【0034】

今回のレーザ構造の結晶成長ではノンドープ GaN 中間層407を成長した後、ノンドープ $\text{Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ 中間層408を成長する間に、いったんTMGの供給を停止して、 N_2 と NH_3 を供給した状態ですばやく昇温し、かつ途中でキャリアガスを N_2 と H_2 の混合ガスに変更しているが、もちろんTMGの供給を停止せず、TMGを供給したままノンドープ GaN 中間層407の結晶成長を続けながら昇温しても良い。また、TMGとTMAを供給してノンドープ $\text{Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ 中間層408を成長の結晶成長をしながら昇温しても良く、結晶中に非発光再結合中心の原因となるような欠陥が生成されない方法であればどのような昇温方法でも構わない。

【0035】

次に $\text{p-Al}_{0.16}\text{Ga}_{0.84}\text{N}$ 電子オーバーフロー抑制層410からみたノンドープ $\text{Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ 中間層408と $\text{p-Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ -アクセプター不純物ドーピング開始層409の役割について説明する。

【0036】

図5は本実施例で示した $\text{p-Al}_{0.16}\text{Ga}_{0.84}\text{N}$ 電子オーバーフロー抑制層410を成長する前にノンドープ $\text{Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ 中間層408と、 $\text{p-Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ アクセプター不純物ドーピング開始層409を用いた場合(図5(b))と、 $\text{p-Al}_{0.16}\text{Ga}_{0.84}\text{N}$ 電子オーバーフロー抑制層309を成長する前に従来の GaN 中間層307、 p-GaN アクセプター不純物ドーピング開始層308を用いた場合(図5(a))のSIMSによるMgプロファイルの比較である。

【0037】

p型のクラッド層($\text{p-Al}_{0.10}\text{Ga}_{0.90}\text{N}$ / p-GaN -SLsクラッド層411及び $\text{p-Al}_{0.14}\text{Ga}_{0.86}\text{N}$ / p-GaN -SLsクラッド層310)では $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のホール濃度を得るために $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ のMg濃度となるようにMgドーピングを

行っている。いずれもp型アクセプター不純物ドーピング開始層409の膜厚は5nm、電子オーバーフロー抑制層410の膜厚は10nmで統一してある。このSIMSによるMgプロファイルから明らかなようにp-Al_{0.03}Ga_{0.97}Nアクセプター不純物ドーピング開始層409を用いた場合ではAlGa_{0.97}N電子オーバーフロー抑制層410の段階ですでに $9.5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ とクラッド層411とほぼ等しいMg濃度が実現できているが、p-GaNアクセプター不純物ドーピング開始層308を用いた場合では、メモリー効果に起因したドーピング遅れの影響が顕著に現れ、AlGa_{0.97}N電子オーバーフロー抑制層309中でMgプロファイルが勾配を持ちそのMg濃度は $5 \sim 7 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 程度であった。

【0038】

以上のように、少なくともAlを含んだノンドープAl_{0.03}Ga_{0.97}N中間層408とp-Al_{0.03}Ga_{0.97}Nアクセプター不純物ドーピング開始層409を用いてp-Al_{0.16}Ga_{0.84}N電子オーバーフロー抑制層410を成長することでメモリー効果によるMgドーピング遅れの影響を抑制することが可能となり、レーザ構造の中で最もバンドギャップエネルギーが大きいp-Al_{0.16}Ga_{0.84}N電子オーバーフロー抑制層410のMg濃度をクラッド層のMg濃度とほぼ等しくすることができた。

【0039】

また、この効果はGaのかわりにInを含んだp-Al_{0.90}In_{0.10}Nアクセプター不純物ドーピング開始層でもよく、レーザ構造中でバンドギャップエネルギーが最も大きいp-Al_{0.16}Ga_{0.84}N電子オーバーフロー抑制層410に対して、それよりもバンドギャップエネルギーが小さく（ただしGa_{0.90}In_{0.10}N/Ga_{0.98}In_{0.02}N-MQW活性層405よりはバンドギャップエネルギーが大きい）、そして少なくともAlが含まれるノンドープの中間層と少なくともAlが含まれるアクセプター不純物ドーピング開始層の3層構造が形成されていることが重要である。このAlが含まれることの必要性については後ほど説明する。

【0040】

別の従来例（特許文献5参照）ではAlGa_{0.97}N層からのMgの拡散を防止するためにMgドープp-Al_{0.97}Ga_{0.03}N層とSiドープn-GaN層の間にノンドープAl_{0.97}Ga_{0.03}N層（ $0 \leq X \leq Y \leq 1$ ）を挿入している。この構成では、活性層（Siドープn-GaN層）へのMgドープp-Al_{0.97}Ga_{0.03}N層からのMg不純物の拡散を、ノンドープAl_{0.97}Ga_{0.03}N層を新たに挿入することで抑制し、ドナーアクセプターペア発光を抑え、バンド端発光を支配的にすることが目的とされている。本願発明と比較すれば、レーザ構造中で最もバンドギャップエネルギーの大きいMgドープp-Al_{0.97}Ga_{0.03}N層に対してノンドープAl_{0.97}Ga_{0.03}N層を用いた2層構造を形成していることとなる。この構成ではMg不純物の拡散は抑制可能であるものの、レーザ構造中で最もバンドギャップエネルギーの大きいMgドープp-Al_{0.97}Ga_{0.03}N層にメモリー効果によるMgドーピング遅れが発生してしまい、レーザ素子としてはあまり望ましくない。このように本願発明とは層構成においても、また、最終的に得られる効果においても大きな違いがある。また、後述のように、本願発明者らの検討により、少なくともAlを含んだMgドープp-AlGa_{0.97}N層からの活性層へのMg拡散は、Alを含まないMgドープp-GaN層と比較して非常に起こりにくいことがわかっている。

【0041】

本来、GaNよりもAlを含有したAlGa_{0.97}Nの方がバンドギャップエネルギーは大きく、このためアクセプター不純物の活性化エネルギーが大きくなり、敢えてAlGa_{0.97}NでMgのドーピングを開始することは、p型結晶が不活性化しやすく、再現性、均一性の低下につながり望ましいことではない。また、活性層の近傍にGaNよりもGaInNとの格子定数差が大きいAlGa_{0.97}Nを配置することは、活性層を構成する井戸層の歪の不均一を招きやすく、発光特性に悪影響を与え、均一性や信頼性にとって望ましいことではない。しかしながら検討の結果、Alを含有することで、メモリー効果の低減に成功し、急峻性の高いドーピング界面を実現することができ、レーザの発光特性を著しく改善すること

ができた。また、井戸層へかかる格子歪を低減するためにノンドープのGa_{0.97}N中間層を、歪低減に最適な膜厚で挿入することが重要であった。

【0042】

次にAlが含まれることの必要性を説明する。Mg原料は結晶成長装置の配管やリアクター内壁に非常に付着しやすく、ドーピングが開始された直後の初期は、原料のほとんどがこの反応に消費される。これがメモリー効果の生じる主な原因である。メモリー効果の影響は結晶成長装置にも依存するが、我々の用いている結晶成長装置でGa_{0.97}N成長中に $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ のMg濃度を得るために、Mgのドーピングを開始した場合、Mgのドーピングフロントは結晶表面側に約10nm遅れ、 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ のMg濃度の90%である $9 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ に到達するまでに200nmを必要とする。

【0043】

一方、例えばAl組成1%のAlGa_{0.99}N成長中に同様の検討を行った場合、Mgのドーピングフロントの遅れはなく、 $9 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のMg濃度に到達するまで10nmを要するだけであった。これは、MgとAlの反応性が非常に高いために、Alが含有された原料ガス中にMgを添加すると、AlとMgが即座に反応し、配管やリアクター内壁に付着することなく複合体を形成して、結晶中に取り込まれるからである。またこの効果は、図6に示すようにMgのドーピング濃度の少なくとも10倍以上のAl濃度(必要なMg濃度が $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ であればAl濃度は $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 、結晶中のAl組成で0.1%以上)があればよく、望ましくは100倍以上のAl濃度があればよい。以上のように、効率よくAlとMgの複合体を形成してMgドーピングを行うことでメモリー効果の影響を抑制して急峻なドーピング界面を持った、ドーピング遅れのないMgドーピングプロファイルを実現できた。

【0044】

さらにGa_{0.97}N中間層307、p-Ga_{0.97}Nアクセプター不純物ドーピング開始層308のかわりにノンドープAl_{0.03}Ga_{0.97}N中間層408とp-Al_{0.03}Ga_{0.97}Nアクセプター不純物ドーピング開始層409を用いることで電子オーバーフロー抑制層を形成したときの圧縮応力を小さくすることができる。圧縮応力が原因となってピエゾ電界が発生し、それに起因して起こるバンド構造の変化によりアクセプター不純物は拡散により不均一分布を形成する。圧縮応力を小さくできるAlを含んだ中間層/アクセプター不純物ドーピング開始層の組み合わせを用いることで、効果的に急峻性の優れたMgドーピングプロファイルを実現できた。

【0045】

Ga_{0.97}N結晶中のMgが形成するアクセプター準位はドナー不純物であるSiよりも活性化エネルギーが大きく、レーザ構造を作製し、電流注入によりレーザ発振させた場合に光学的損失(光吸収損失)が発生させる。本発明では高い制御性、高い急峻性で、界面における所望のドーピングプロファイルを形成できるため、光吸収損失が極めて低いレーザ構造の作製において歩留まりの飛躍的な改善が実現できた。また、その中でも特にMgドーピングプロファイルの裾の状態が光吸収損失に多大に影響しており、この状態を抑制できたことで歩留まり改善に大きな寄与を与えることができた。

【0046】

p-Ga_{0.97}N層でMgドーピングを開始し、急峻なドーピングプロファイルを実現する方法として、本発明とは異なる方法ではドーピング界面のみMg供給量を過剰にしドーピング遅れを抑制する方法も考えられる。しかし、配管やリアクター内壁への付着は低減できず、やはりメモリー効果によりドーピング遅れが発生し、AlGa_{0.99}N電子オーバーフロー抑制層中では逆にアクセプター不純物であるMgが過剰に取り込まれ(例えばMg濃度にして $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以上)、アクセプターが補償され高抵抗化してしまうなど制御性に乏しかった。

【0047】

また、メモリー効果が発生しにくい配管、リアクター構造に結晶成長装置を改造することもできるがコスト、必要な時間等が莫大なものとなる。本発明によれば、特別な装置の

改造や手法を用いることなく容易にMgドーピングの制御性を向上できる。

【0048】

この効果を実現するためには、効率よくAlとMgの複合体を形成してMgドーピングを行うことが重要であるが、そのときキャリアガスとしてH₂だけでなくN₂が含まれていると反応性が高まり、より望ましいが、H₂だけでももちろん良い。また、この反応性を高めるためには、レーザ構造の電気特性に影響を与えない範囲で酸素、炭素、シリコン等の不純物を微量添加することも有効であった。

【0049】

また、従来のp-GaNアクセプター不純物ドーピング開始層を用いた場合には、レーザ動作時の電流印加や、レーザに加えられた熱、磁界によりこのMgが容易に活性層側へ拡散して、活性層近傍で光吸収損失を引き起こし、レーザの信頼性に悪影響を及ぼし、再現性、均一性良く、高い信頼性を有するレーザ素子を実現することが困難であったが、p-AlGaNアクセプター不純物ドーピング開始層を用いてレーザ構造を作製した場合、結晶中でもAlとMgの結合が強く、レーザ動作中のMgの拡散が生じにくいために高い信頼性を有したレーザ素子を再現性良く高い歩留まりで実現することができた。

【0050】

更に、従来のp-GaNアクセプター不純物ドーピング開始層を用いた場合には、結晶成長装置の配管やリアクター内壁に付着したMgが、結晶成長後も残留し、引き続いてレーザ構造を作製する場合にn型層に徐々に混入し、n型ドナー不純物を補償し高抵抗化してしまい望ましくないが、p-AlGaNアクセプター不純物ドーピング開始層を用いてレーザ構造を作製した場合、この影響を抑制でき、レーザ構造の結晶成長における再現性は飛躍的に高まった。

【0051】

本実施の形態ではGaN基板上のレーザ構造について説明したが、本発明の結晶成長は、上記条件の原理を生かす結晶成長であれば基板はGaNに限るものではなく、AlGaN、InGaNやAlGaInN等の窒化物半導体バルク基板、サファイア基板や炭化珪素基板、シリコン基板、ガリウム砒素基板上に成長したGaN等でも、もちろん選択横方向成長を用いて作製したELO-GaN基板でも良い。

【0052】

n型のクラッド層にバルク結晶のAlGaN、p型のクラッド層にAlGaNとGaNから構成される超格子構造を用いたが、p型のクラッド層にバルク結晶のAlGaN、n型のクラッド層にAlGaNとGaNから構成される超格子構造、n型、p型の両方にバルク結晶のAlGaN、もしくはAlGaNとGaNから構成される超格子構造を用いてもよい。またInやホウ素(B)砒素(As)、リン(P)を含有していてもよく、光とキャリアの閉じ込めが効果的に実現できる構成であれば何でも良い。

【0053】

また、本実施の形態ではGaの原料としてTMG、Alの原料としてTMA、Inの原料としてTMI、Mgの原料としてCp₂Mg、Nの原料としてNH₃を用いたが、上記条件の原理を生かす結晶成長であればこれらに限るものではなく、Gaの原料としてトリエチルガリウム(TEG)や塩化ガリウム(GaClやGaCl₃)、Alの原料としてトリエチルアルミニウム(TEA)やジメチルアルミハイドライド(DMAH)、ジメチルアルミクロライド(DMACl)、トリメチルアミンアラン(TMAA)、Inの原料としてトリエチルインジウム(TEI)、Mgの原料としてビスエチルシクロペンタジエニルマグネシウム(EtCp₂Mg)やビスメチルシクロペンタジエニルマグネシウム(MeCp₂Mg)、Nの原料としてヒドラジン(N₂H₄)やモノメチルヒドラジン(MMH)、ジメチルヒドラジン(DMH)を用いても良い。特に、本発明を効果的に実現するためには、AlとMgの複合体が効率よく形成され、それを用いてMgドーピングを行うことが重要であり、この複合体の形成では分子量が大きい方がより効果的に作用するため、使用可能な範囲でできるだけ分子量の大きい原料を用いることがさらに望ましい。

【0054】

また、本実施の形態では p 型アクセプター不純物として Mg を用いたが、これに限るものではなく炭素 (C)、亜鉛 (Zn)、ベリリウム (Be)、カドミウム (Cd) でももちろんよい。

【0055】

また、本実施の形態ではレーザ素子について説明したが、これに限るものではなく、発光ダイオード素子や受光素子など p-n 接合を有する全ての素子にあてはまる。

【0056】

更に、上記効果は $\text{Ba}_{1-x}\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}$ や As、P を含有した $\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{NAsP}$ 混晶化合物半導体全般に成り立つ。

【0057】

(実施の形態 1 の応用 1)

実施の形態 1 と同様にレーザ構造を結晶成長した後、ドライエッチングプロセスによりストライプ状の加工を行う。このときノンドープ $\text{Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ 中間層 408 が露出する寸前まで、表面側から p-GaN コンタクト層 412、p- $\text{Al}_{0.10}\text{Ga}_{0.90}\text{N}$ /p-GaN-SLs クラッド層 411、p- $\text{Al}_{0.16}\text{Ga}_{0.84}\text{N}$ 電子オーバーフロー抑制層 410、p- $\text{Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ アクセプター不純物ドーピング開始層 409 を順にエッチングする。エッチング深さはレーザのキंकレベルやビーム形状を決定する重要なパラメータであり、精密な制御することが望ましい。

【0058】

今回、レーザ構造エピウェハーの数箇所 $50\mu\text{m}$ 角の光学評価用モニター窓を設置しておき、ドライエッチングプロセスを進めながらその場観測で光学的評価を行いながらドライエッチングを施した。本実施の形態では光学的評価手法としてフォトルミネッセンス測定を行った。フォトルミネッセンスの評価には波長 325nm のヘリウム-カドミウムレーザを用いた。p 型アクセプター不純物がドーピングされた化合物半導体では p 型アクセプター不純物準位が形成されており、ドナー・アクセプターペア発光が観測され、p 型アクセプター不純物がドーピングされていない化合物半導体では主にバンド端近傍からの発光が観測される。p- $\text{Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ アクセプター不純物ドーピング開始層 409 を用いない従来までの方法では、p 型アクセプターのドーピングプロファイルが裾を引いており、ドーピング界面が明確でないため光学的評価からドーピング界面を求めることは不可能であった。

【0059】

しかしながら、実施の形態 1 のように p- $\text{Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ アクセプター不純物ドーピング開始層 409 を用いることで、ドーピング界面の急峻性が向上でき、光学的評価により容易に膜厚制御が可能であった。もちろんこの制御方法はフォトルミネッセンス測定だけではなく、プラズマ発光分析等、評価が可能な手法であれば何を用いても良い。また、光学評価用モニター窓は、ウェハー内で素子の歩留まりが低下せず、また、光学評価が可能であれば形状、サイズは問わない。

【0060】

また、エッチング終了後、この光学評価用モニター窓からフォトルミネッセンスの測定を行うことで活性層の発光波長を評価することができ、レーザプロセスの前段階で、レーザ構造の出来栄評価を行うこともでき素子プロセスの効率化が達成できた。

【0061】

(実施の形態 1 の応用 2)

実施の形態 1 と p 型クラッド層の構造を除いて同様な構成でレーザ構造を結晶成長した。実施の形態 1 では p- $\text{Al}_{0.10}\text{Ga}_{0.90}\text{N}$ /p-GaN-SLs クラッド層 411 を用いていたが、ここではそのかわりに p- $\text{Al}_{0.08}\text{Ga}_{0.92}\text{N}$ /p- $\text{Al}_{0.02}\text{Ga}_{0.98}\text{N}$ -SLs クラッド層 601 を用いている。図 7 (a) にこのレーザ構造の構造図を示す。p- $\text{Al}_{0.10}\text{Ga}_{0.90}\text{N}$ /p-GaN-SLs クラッド層 411 を用いた場合、周期的に TMA の供給/非供給を繰り返して AlGaIn 層と GaIn 層を形成していく。

【0062】

このとき一様にMgドーピングを行っている、GaN層形成中にはメモリー効果によってMgの取り込まれが減少し、逆にAlGaN層を形成する場合には、界面付近で急激にMgの取り込まれが増大し、定常値で安定するという変化を繰り返し、図7(b)に示すようにMg濃度がクラッド層内で安定せず増減を繰り返し、レーザ構造の低電圧動作に対する再現性が低かった。

【0063】

一方、 $p\text{-Al}_{0.08}\text{Ga}_{0.92}\text{N}$ / $p\text{-Al}_{0.02}\text{Ga}_{0.98}\text{N}$ -SLsクラッド層601を用いた場合、常にTMAが供給されておりメモリー効果の影響が低減できるため、図7(c)に示すようにクラッド層内のMg濃度は再現性良く一定値に制御することが可能となり、高い制御性で動作電圧低減が実現できた。

【0064】

(実施の形態2)

実施の形態1におけるレーザ構造と同様の構成において40nm厚のノンドープ $\text{Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ 中間層408、5nm厚の $p\text{-Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ -アクセプター不純物ドーピング開始層409のかわりに、40nm厚のノンドープ $\text{Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.95}\text{In}_{0.02}\text{N}$ 中間層701、5nm厚の $p\text{-Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.95}\text{In}_{0.02}\text{N}$ アクセプター不純物ドーピング開始層702を用いたレーザ構造を作製した。図8(a)に構造図を、図8(b)にこのレーザ構造の伝導帯側バンド構造の模式図を示す。Al組成は両実施の形態で等しく、Mgのドーピングプロファイルに差異はないが、Inを含有している分だけバンドギャップエネルギーは小さくなり、結果的に活性化エネルギーが小さくなり、ホール濃度は高くなっている。また、活性層に加わる歪も小さくなっている。このため、より一層のしきい値電流の低減と信頼性の向上が実現できた。

【0065】

(実施の形態3)

実施の形態1におけるレーザ構造と同様の構成において5nm厚の $p\text{-Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ -アクセプター不純物ドーピング開始層409のかわりに、5nm厚の $p\text{-Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.95}\text{In}_{0.02}\text{N}$ アクセプター不純物ドーピング開始層801、5nm厚の $p\text{-Ga}_{0.98}\text{In}_{0.02}\text{N}$ 層802を用いたレーザ構造を作製した。図9(a)に構造図を、図9(b)にこのレーザ構造の伝導帯側バンド構造の模式図を示す。

【0066】

Mgドーピング開始層801のAl組成は両実施の形態で等しく、Mgのドーピングプロファイルに差異はないが、本実施の形態の方が $p\text{-Ga}_{0.98}\text{In}_{0.02}\text{N}$ 層802を挿入している分だけMQW活性層405と $p\text{-Al}_{0.16}\text{Ga}_{0.84}\text{N}$ 電子オーバーフロー抑制層410の間の距離が長い。しかしながら5nm厚の $p\text{-Ga}_{0.98}\text{In}_{0.02}\text{N}$ 層802はGaNよりもInを含有している分だけバンドギャップエネルギーは小さく、結果的に非常に高いホール濃度を有する。このため活性層405へのホールの注入効率が向上し、より一層のしきい値電流の低減と信頼性の向上が実現できた。

【0067】

(実施の形態4)

実施の形態1におけるレーザ構造と同様の構成において40nm厚のノンドープ $\text{Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ 中間層408、5nm厚の $p\text{-Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ アクセプター不純物ドーピング開始層409のかわりに、40nm厚のノンドープ $\text{Al}_{0.06}\text{Ga}_{0.84}\text{In}_{0.10}\text{N}$ 中間層901、3nm厚の $p\text{-Al}_{0.06}\text{Ga}_{0.84}\text{In}_{0.10}\text{N}$ アクセプター不純物ドーピング開始層902を用いたレーザ構造を作製した。図10(a)に構造図を、図10(b)にこのレーザ構造の伝導帯側バンド構造の模式図を示す。

【0068】

中間層901、アクセプター不純物ドーピング開始層902のAl組成が本実施の形態では実施の形態1よりも高く、Mgのドーピングプロファイルがより急峻に立ち上がるため、本実施の形態の方が $p\text{-Al}_{0.06}\text{Ga}_{0.84}\text{In}_{0.10}\text{N}$ アクセプター不純物ドーピング開始層902を薄くすることができる。また、 $p\text{-Al}_{0.06}\text{Ga}_{0.84}\text{In}_{0.10}\text{N}$ アクセプ

ター不純物ドーピング開始層 902 が GaN と格子整合し、活性層に印加される歪を実施の形態 1 よりも小さくできる。このため、より一層の高出力化と信頼性の向上が実現できた。

【0069】

(実施の形態 5)

実施の形態 1 におけるレーザ構造と同様の構成において 40 nm 厚のノンドープ $\text{Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ 中間層 408、5 nm 厚の p- $\text{Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ -アクセプター不純物ドーピング開始層 409 のかわりに、40 nm 厚のノンドープ $\text{Al}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ 中間層 1001、1 nm ごとに Al 組成が 0.03 ずつ段階的に 0.01 から 0.13 まで上昇する 5 nm 厚の $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0.01 \leq x \leq 0.13$) アクセプター不純物ドーピング開始層 1002 を用いたレーザ構造を作製した。図 11 (a) に構造図を、図 11 (b) にこのレーザ構造の伝導帯側バンド構造の模式図を示す。

【0070】

$\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0.01 \leq x \leq 0.13$) アクセプター不純物ドーピング開始層 1002 で Al 組成を段階的に増加させることで Mg のドーピングプロファイルを更に急峻に立ち上げることが可能となった。また、格子定数差に起因した格子歪の発生を抑制できるため、活性層に印加される応力の低減、バンド不連続によるノッチの発生の低減が実現できた。さらに、圧縮応力によって生じるピエゾ電界効果の影響を効果的に低減できるために、活性層へのホール注入効率が高まり、より一層のしきい値電流の低減と信頼性の向上、そして歩留まりの向上が実現できた。本実施の形態では 1 nm ごとに Al 組成が 0.03 ずつ段階的に 0.01 から 0.13 まで上昇する 5 nm 厚の $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0.01 \leq x \leq 0.13$) アクセプター不純物ドーピング開始層 1002 を用いたが、この効果は段階的に Al 組成を増加させることのみによるものではなく、連続的に Al 組成を増加させることや、放物線的に Al 組成を増加させることで格子定数差に起因した歪の発生を劇的に低減でき、バンド不連続によるノッチの発生は完全に抑えられ、更に効果的である。

【産業上の利用可能性】

【0071】

本発明の第一の手段によれば、化合物半導体光素子を結晶成長する場合に、活性層と電子オーバーフロー抑制層の間に活性層よりもバンドギャップエネルギーが大きく、電子オーバーフロー抑制層よりもバンドギャップエネルギーが小さい、少なくとも Al を含んだ化合物半導体から構成される p 型アクセプター不純物ドーピング開始層を設けることで急峻なドーピング界面を持った、メモリー効果に起因したドーピング遅れのないアクセプター不純物プロファイルを実現できる。また、活性層への p 型アクセプターの拡散も抑制することができる。これにより、高い信頼性を有した低しきい値電流、低動作電圧の化合物半導体受発光素子を、再現性、均一性良く作製することが実現できる。

【図面の簡単な説明】

【0072】

【図 1】 (a) 従来報告されている ELO-GaN 基板上に作製された窒化物半導体レーザ素子の断面構造図 (b) 上記レーザ素子の伝導帯側バンド構造の模式図

【図 2】 (a) 従来報告されている ELO-GaN 基板上に作製された窒化物半導体レーザ素子の断面構造図 (b) 上記レーザ素子の伝導帯側バンド構造の模式図

【図 3】 (a) 従来作製してきた ABLE-GaN 基板上に作製された窒化物半導体レーザ素子の断面構造図 (b) 上記レーザ素子の伝導帯側バンド構造の模式図

【図 4】 (a) 本発明の一実施形態に係る窒化物半導体レーザ素子の断面構造図 (b) 上記レーザ素子の伝導帯側バンド構造の模式図

【図 5】 従来作製してきた窒化物半導体レーザ素子 (a) と本発明の一実施形態に係る窒化物半導体レーザ素子 (b) の SIMS 分析による Mg ドーピングプロファイルと比較する図

【図 6】 p- AlGaIn -アクセプター不純物ドーピング開始層の Al 組成に対する

p-AlGa_N電流オーバーフロー抑制層のMg濃度を示す図

【図7】 (a) 本発明の一実施形態に係る窒化物半導体レーザ素子の断面構造図 (b) 上記レーザ素子の伝導帯側バンド構造の模式図

【図8】 (a) 本発明の一実施形態に係る窒化物半導体レーザ素子の断面構造図 (b) 上記レーザ素子の伝導帯側バンド構造の模式図

【図9】 (a) 本発明の一実施形態に係る窒化物半導体レーザ素子の断面構造図 (b) 上記レーザ素子の伝導帯側バンド構造の模式図

【図10】 (a) 本発明の一実施形態に係る窒化物半導体レーザ素子の断面構造図 (b) 上記レーザ素子の伝導帯側バンド構造の模式図

【図11】 (a) 本発明の一実施形態に係る窒化物半導体レーザ素子の断面構造図 (b) 上記レーザ素子の伝導帯側バンド構造の模式図

【符号の説明】

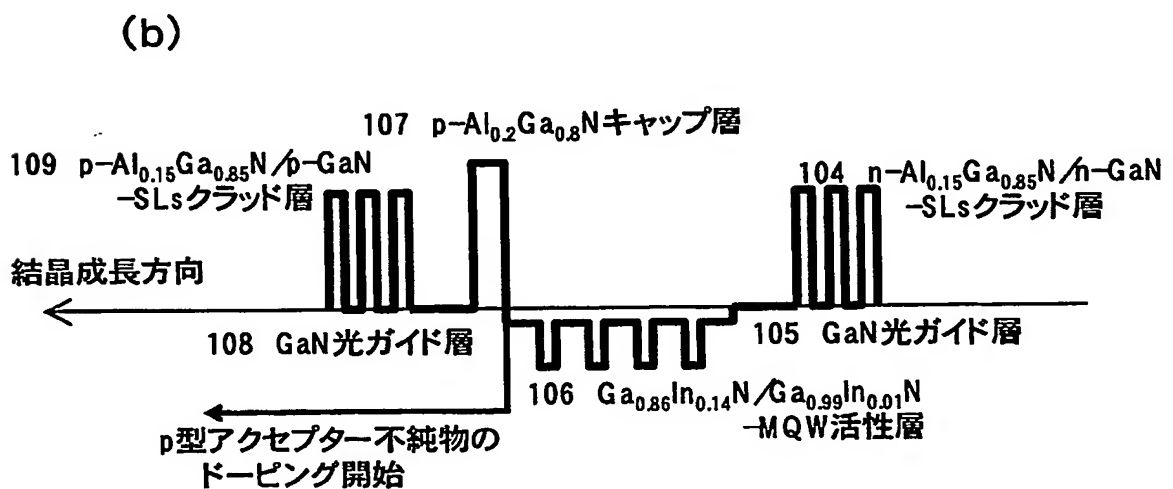
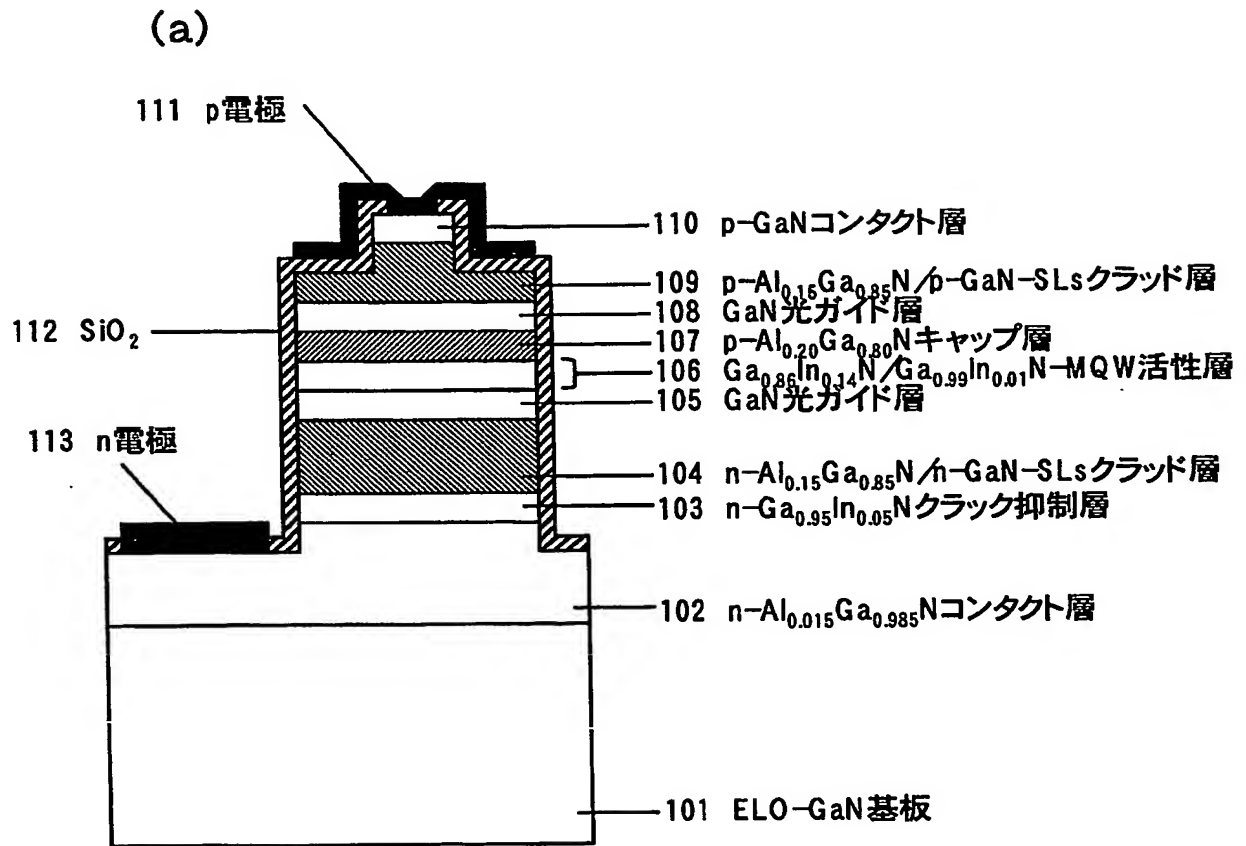
【0073】

- 101 ELO-GaN基板
- 102 n-Al_{0.015}Ga_{0.985}Nコンタクト層
- 103 n-Ga_{0.95}In_{0.05}Nクラッド層
- 104 n-Al_{0.15}Ga_{0.85}N/n-GaN-SLsクラッド層
- 105 GaN光ガイド層
- 106 Ga_{0.86}In_{0.14}N/Ga_{0.99}In_{0.01}N-MQW活性層
- 107 p-Al_{0.20}Ga_{0.80}Nキャップ層
- 108 GaN光ガイド層
- 109 p-Al_{0.15}Ga_{0.85}N/p-GaN-SLsクラッド層
- 110 p-GaNコンタクト層
- 111 p電極
- 112 SiO₂
- 113 n電極
- 201 ELO-GaN基板
- 202 n-GaNコンタクト層
- 203 n-Al_{0.08}Ga_{0.92}Nクラッド層
- 204 GaN光ガイド層
- 205 Ga_{0.90}In_{0.10}N/Ga_{0.98}In_{0.02}N-MQW活性層
- 206 GaInN中間層
- 207 AlGa_N中間層
- 208 p-Al_{0.16}Ga_{0.84}N電子ブロック層
- 209 p-Al_{0.15}Ga_{0.85}N/p-GaN-SLsクラッド層
- 210 p-GaNコンタクト層
- 211 p電極
- 212 SiO₂
- 213 n電極
- 301 ABLEG-GaN基板
- 302 n-GaNコンタクト層
- 303 n-Al_{0.07}Ga_{0.93}Nクラッド層
- 304 n-GaN光ガイド層
- 305 Ga_{0.90}In_{0.10}N/Ga_{0.98}In_{0.02}N-MQW活性層
- 306 GaInN中間層
- 307 GaN中間層
- 308 p-GaNアクセプター不純物ドーピング開始層
- 309 p-Al_{0.16}Ga_{0.84}N電子オーバーフロー抑制層
- 310 p-Al_{0.14}Ga_{0.86}N/p-GaN-SLsクラッド層
- 311 p-GaNコンタクト層

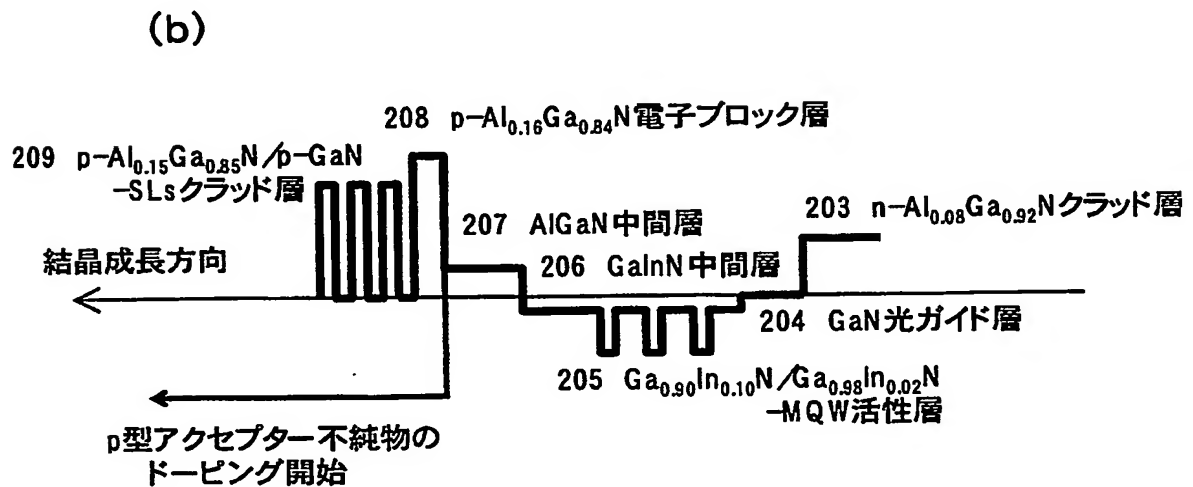
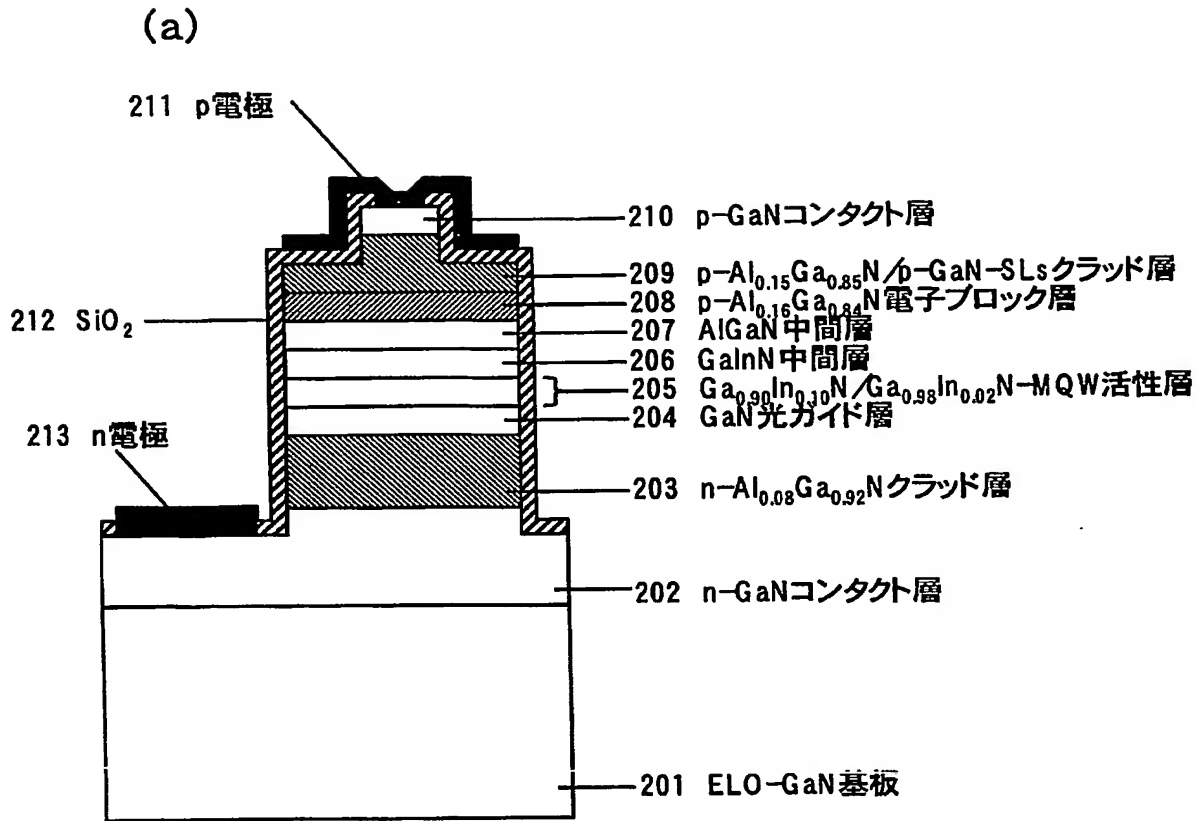
- 312 p電極
- 313 SiO₂
- 314 n電極
- 401 n-GaN基板
- 402 n-GaN層
- 403 n-Al_{0.05}Ga_{0.95}Nクラッド層
- 404 n-GaN光ガイド層
- 405 Ga_{0.90}In_{0.10}N/Ga_{0.98}In_{0.02}N-MQW活性層
- 406 Ga_{0.98}In_{0.02}N中間層
- 407 GaN中間層
- 408 Al_{0.03}Ga_{0.97}N中間層
- 409 p-Al_{0.03}Ga_{0.97}Nアクセプター不純物ドーピング開始層
- 410 p-Al_{0.16}Ga_{0.84}N電子オーバーフロー抑制層
- 411 p-Al_{0.10}Ga_{0.90}N/p-GaN-SLsクラッド層
- 412 p-GaNコンタクト層
- 413 p電極
- 414 n電極
- 415 SiO₂
- 601 p-Al_{0.08}Ga_{0.92}N/p-Al_{0.02}Ga_{0.98}N-SLsクラッド層
- 701 Al_{0.03}Ga_{0.95}In_{0.02}N中間層
- 702 p-Al_{0.03}Ga_{0.95}In_{0.02}Nアクセプター不純物ドーピング開始層
- 801 p-Al_{0.03}Ga_{0.95}In_{0.02}Nアクセプター不純物ドーピング開始層
- 802 p-Ga_{0.98}In_{0.02}N層
- 901 Al_{0.06}Ga_{0.84}In_{0.10}N中間層
- 902 p-Al_{0.06}Ga_{0.84}In_{0.10}Nアクセプター不純物ドーピング開始層
- 1001 Al_{0.01}Ga_{0.99}N中間層
- 1002 p-Al_xGa_xN(0.01 ≤ x ≤ 0.13)アクセプター不純物ドーピング開始層

【書類名】図面

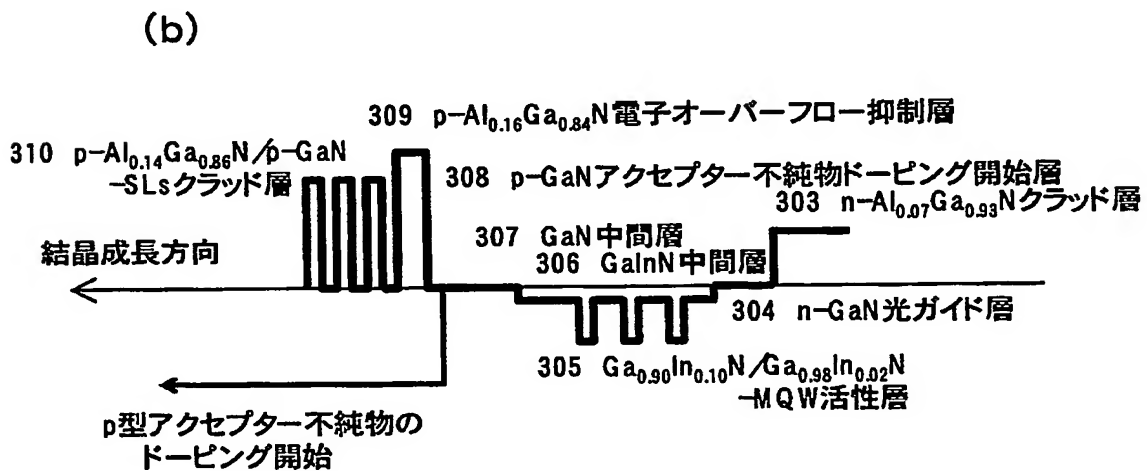
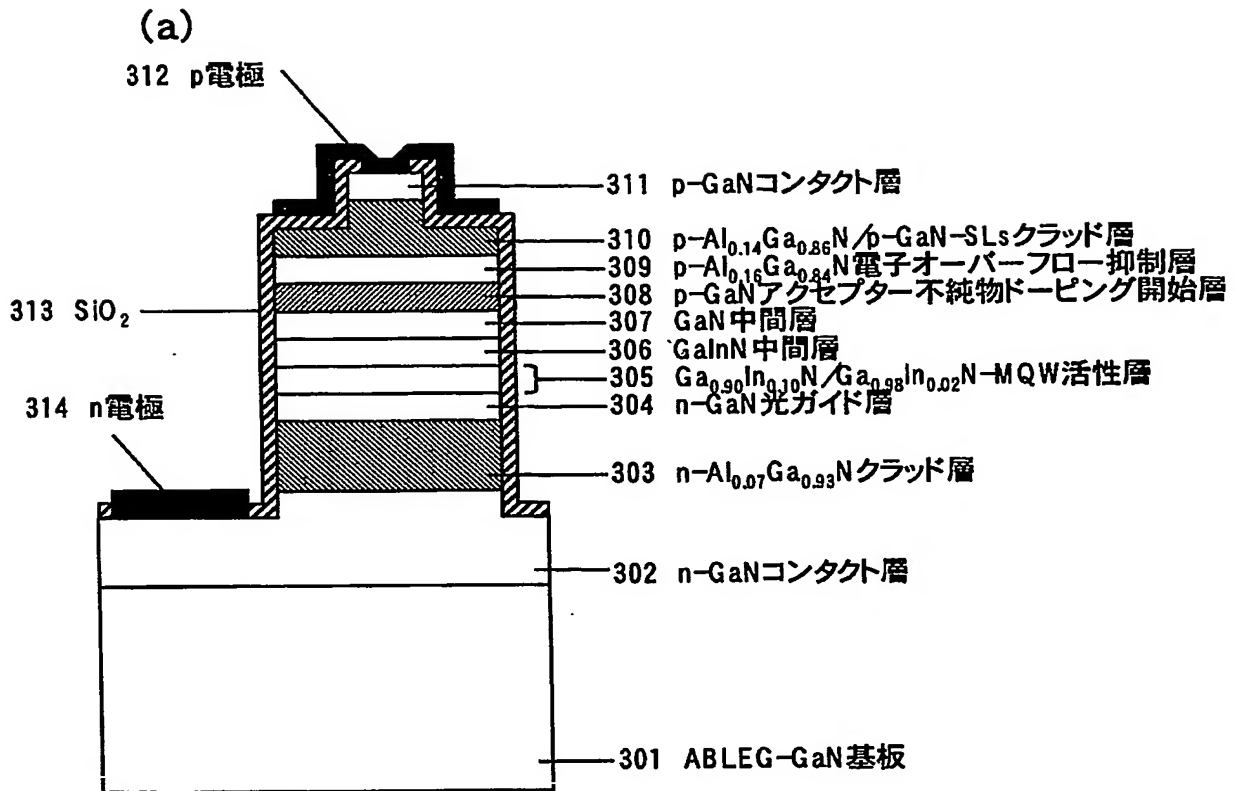
【図1】



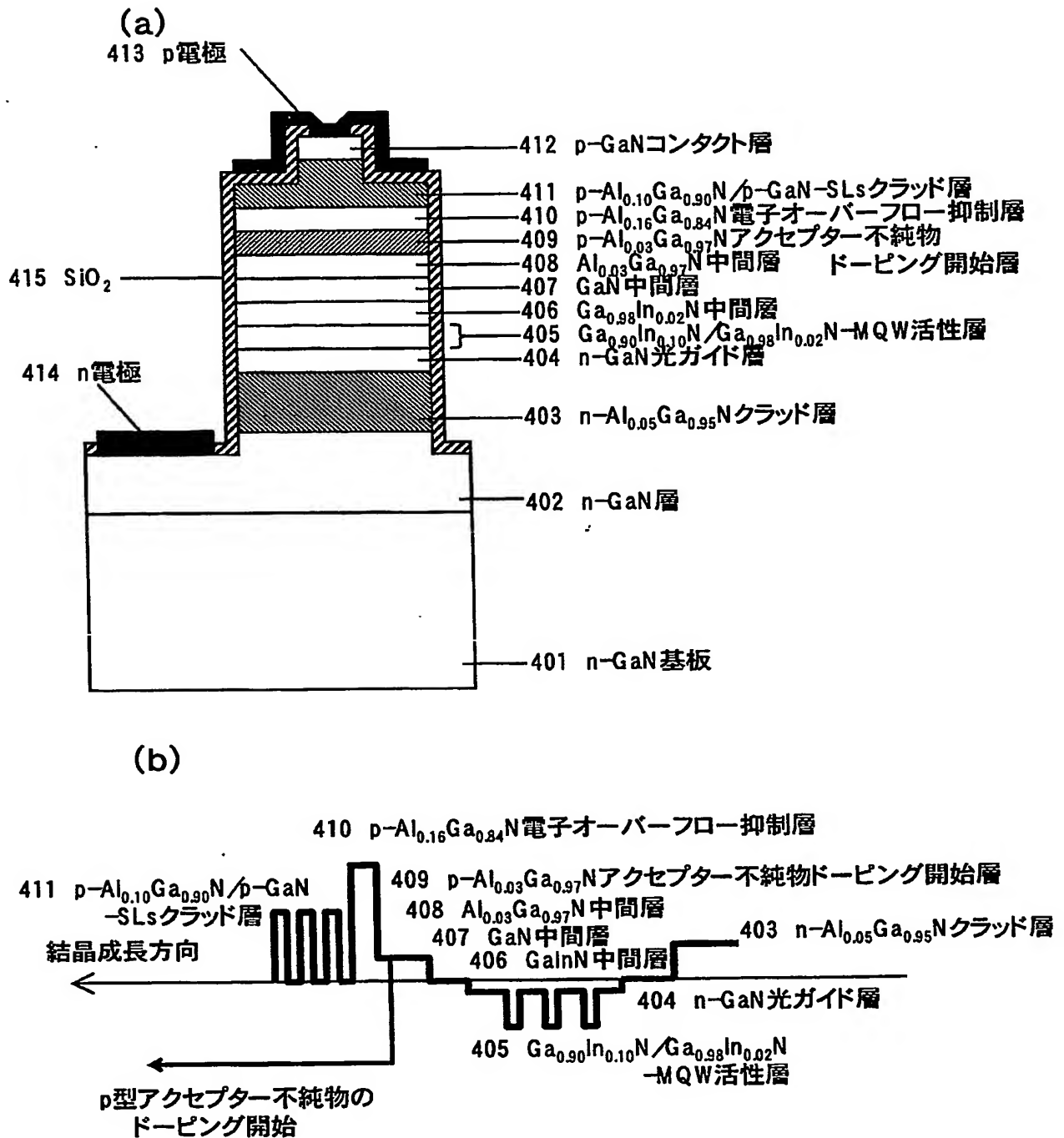
【図 2】



【図3】

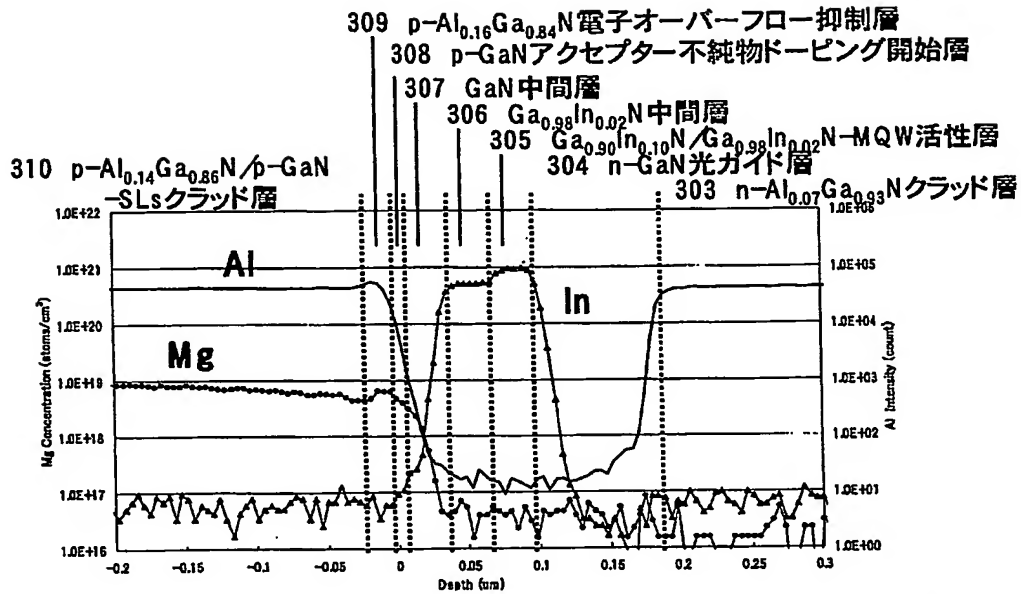


【図 4】

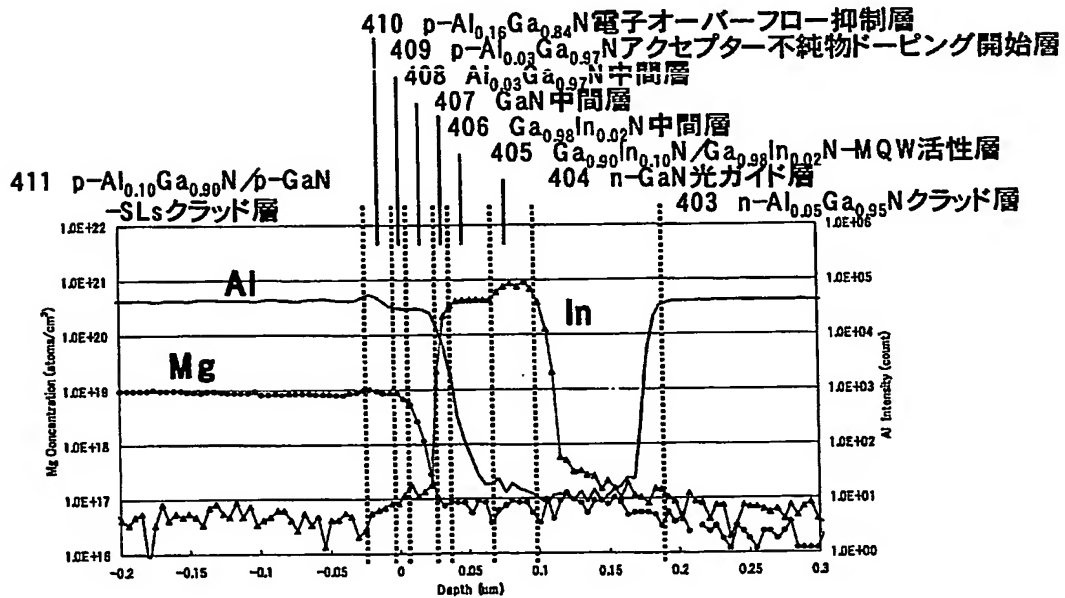


【図 5】

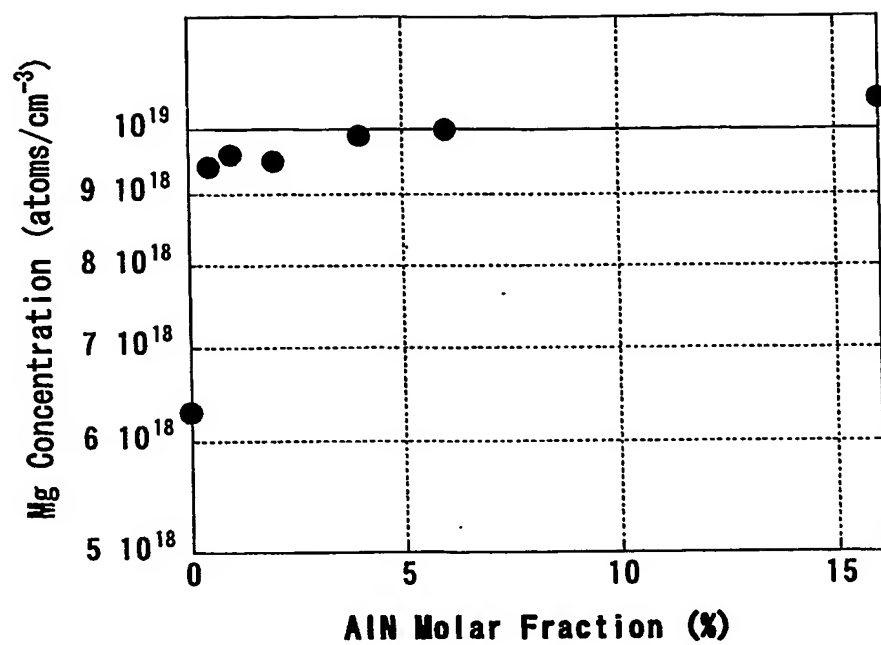
(a)



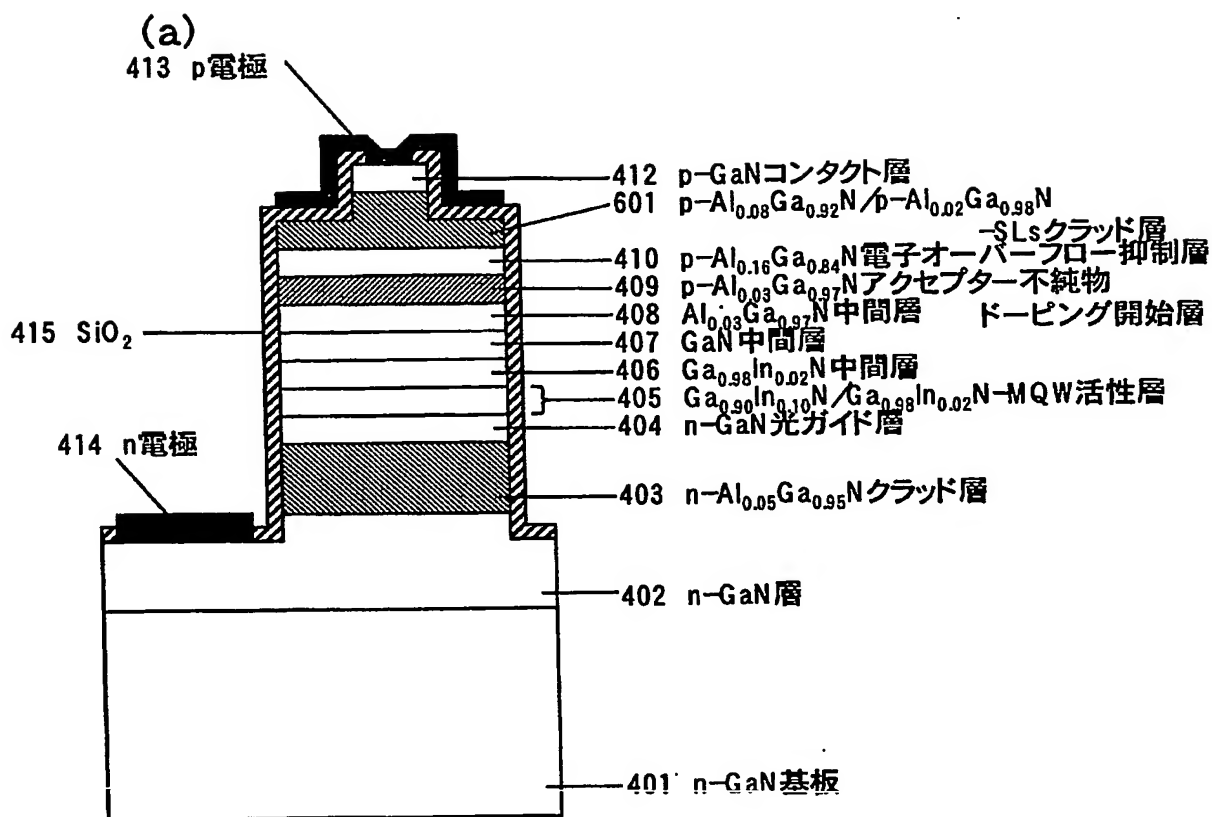
(b)



【図 6】

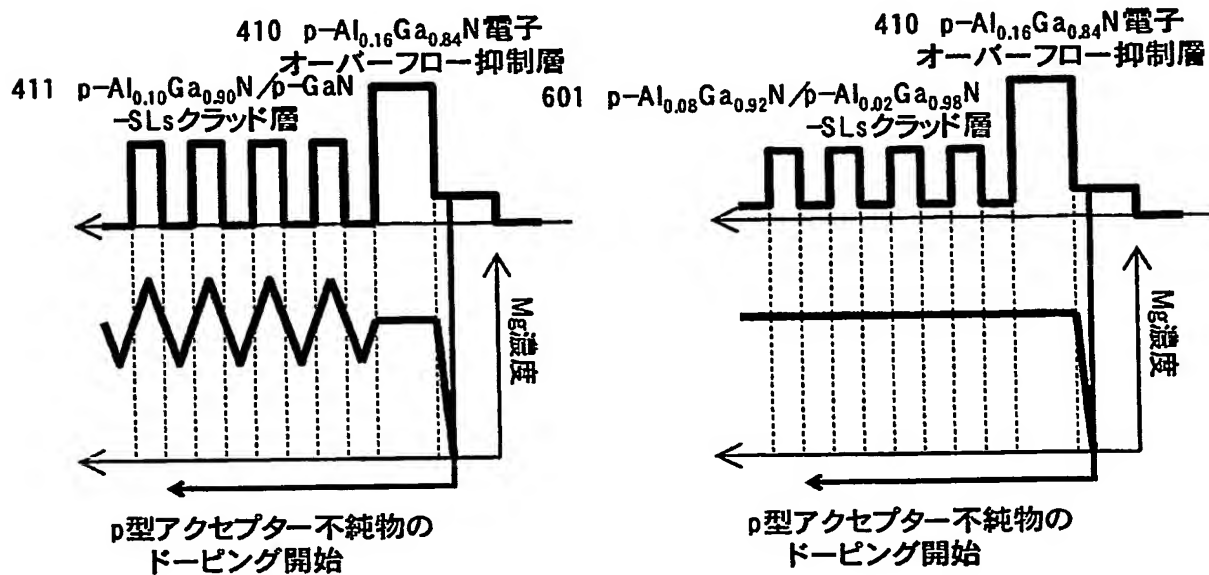


【図 7】

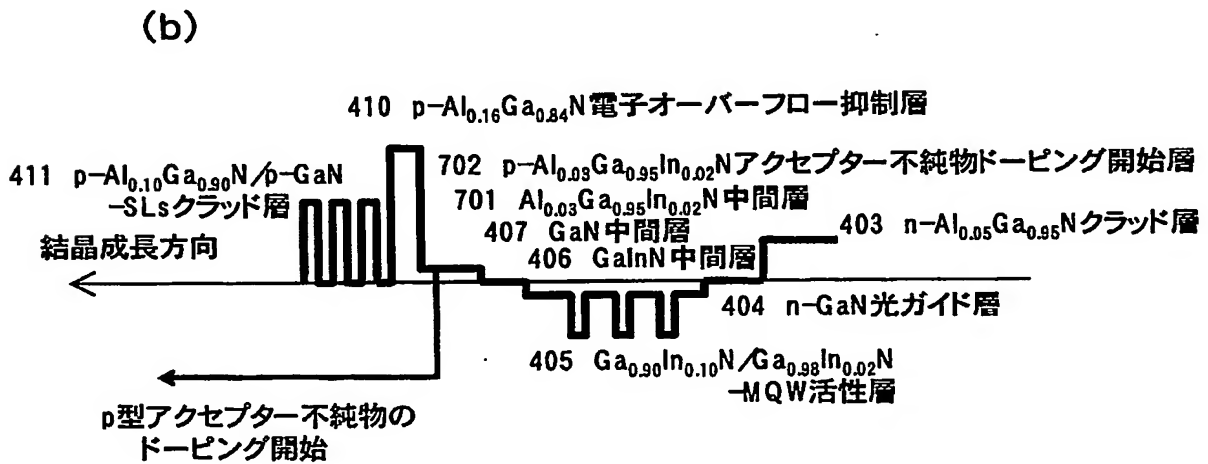
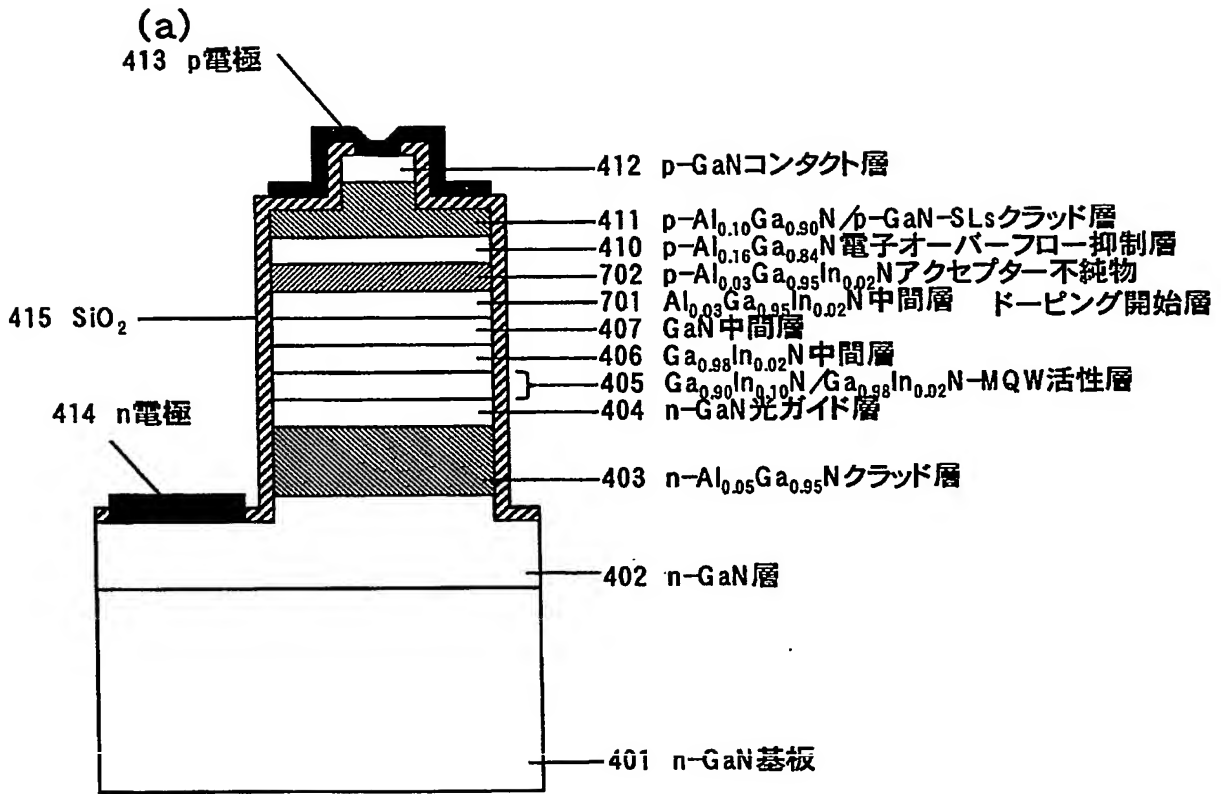


(b)

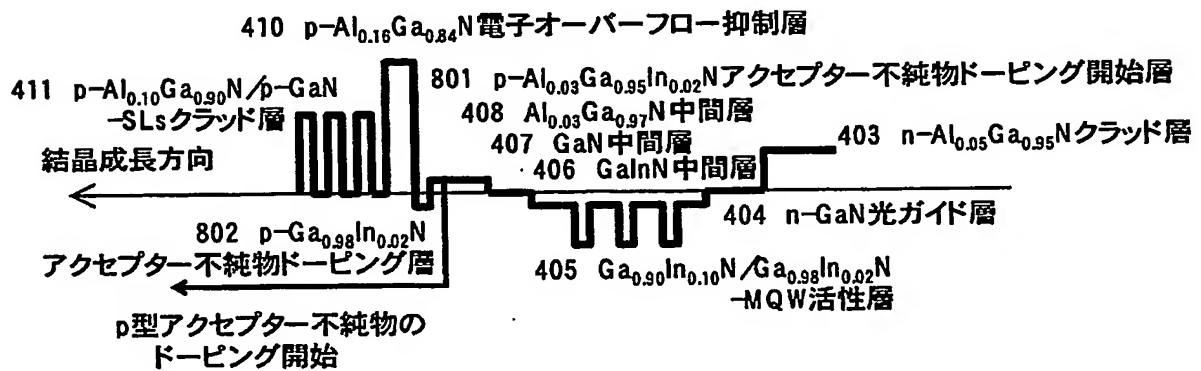
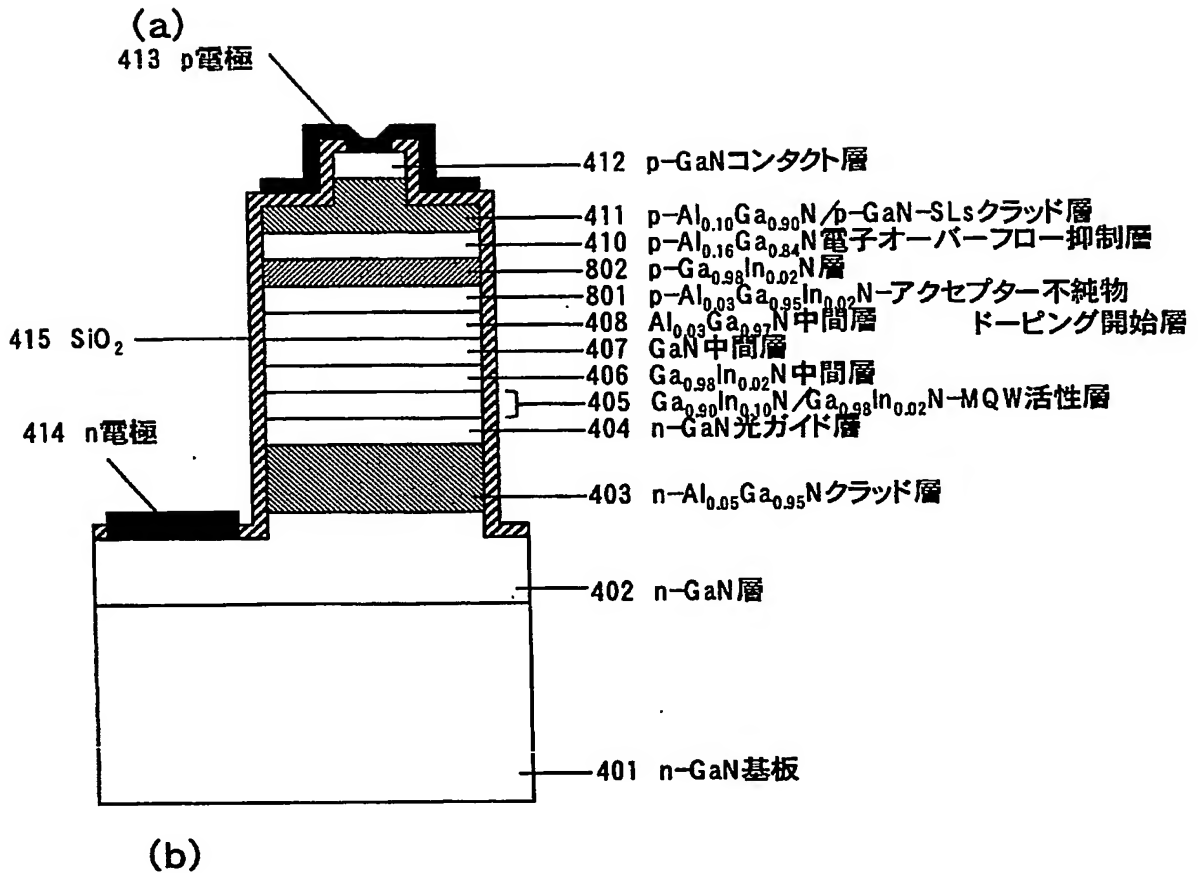
【図6(c)】



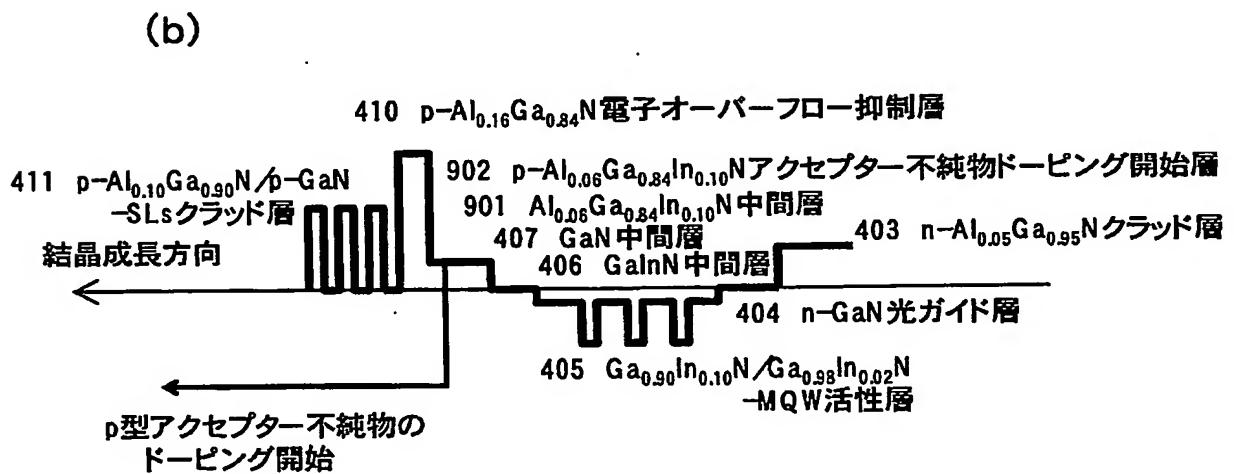
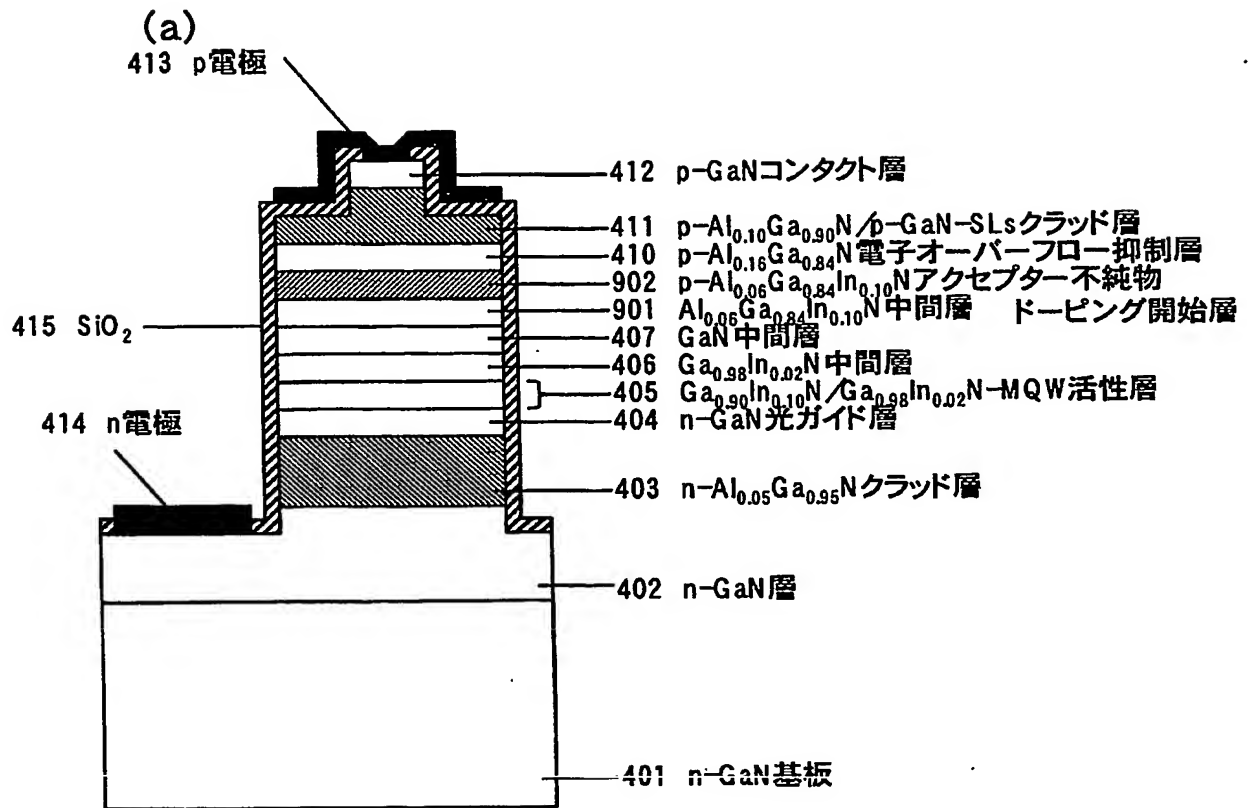
【図 8】



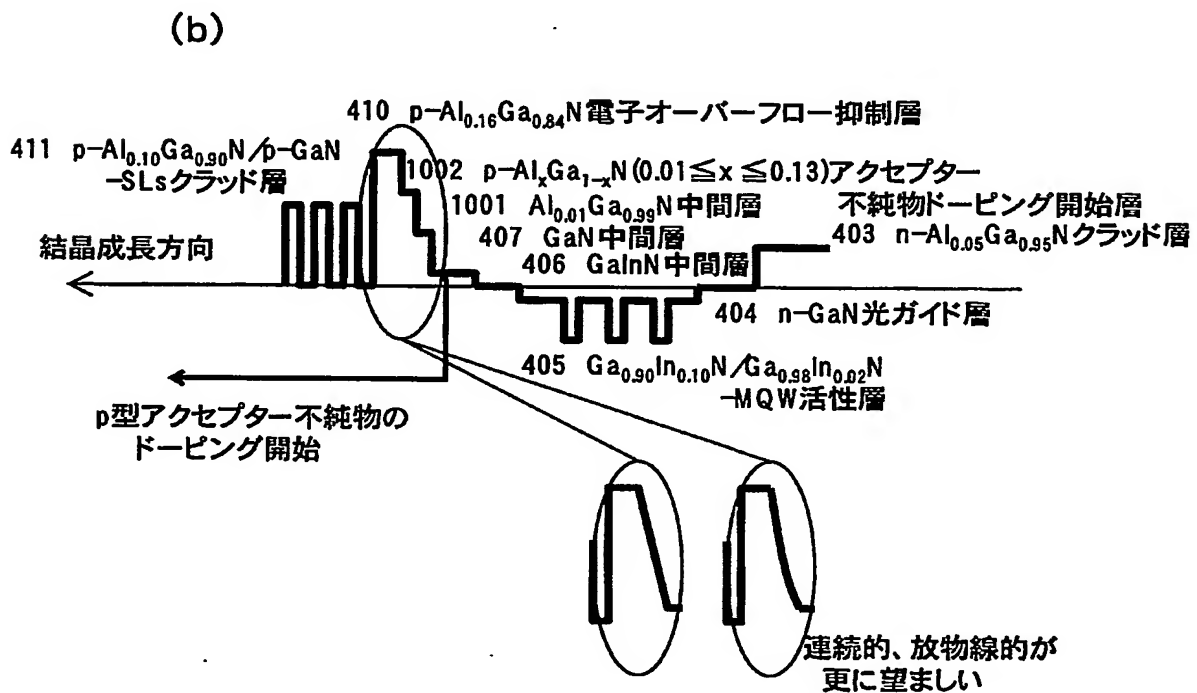
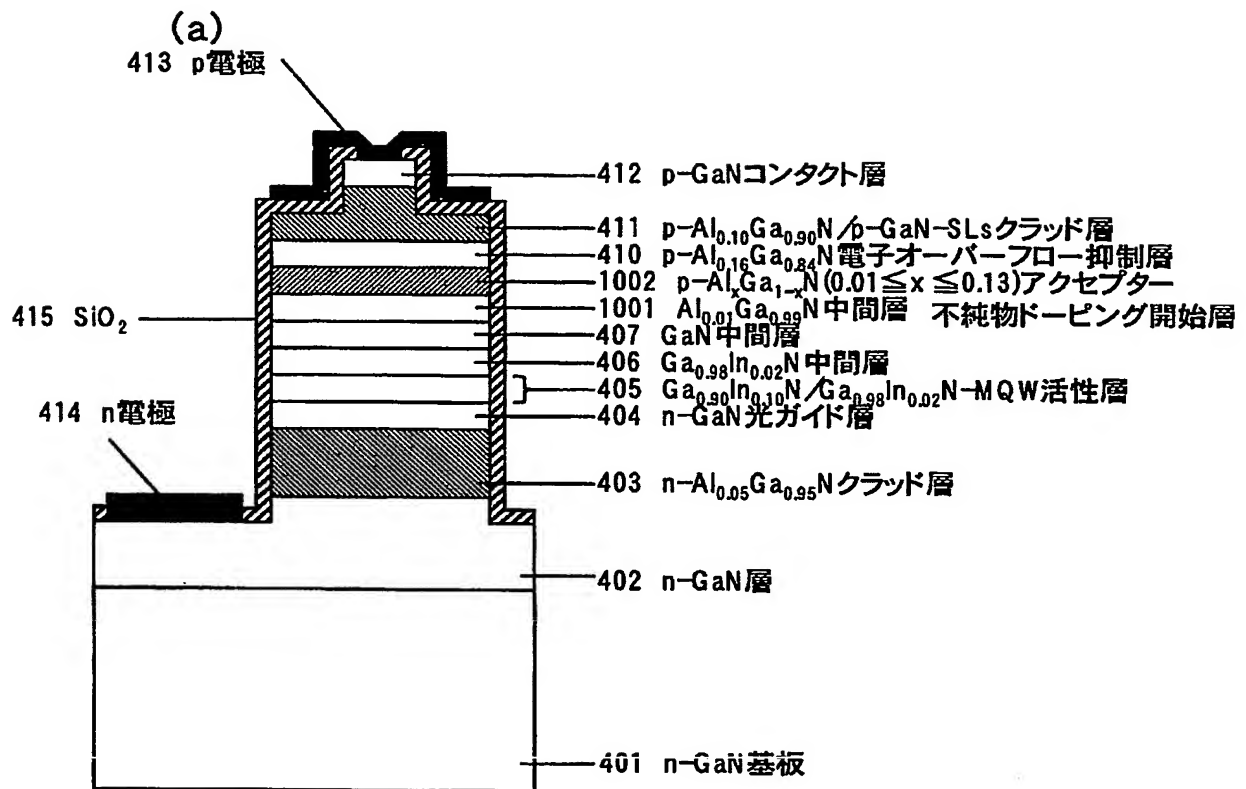
【図 9】



【図10】



【図 11】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 化合物半導体受発光素子において、急峻なドーピング界面を持つ、高い信頼性を有した素子を、再現性、均一性良く作製する方法を提供すること。

【解決手段】 化合物半導体受発光素子構造の結晶成長において、活性層と電子オーバーフロー抑制層の間に活性層よりもバンドギャップエネルギーが大きく、電子オーバーフロー抑制層よりもバンドギャップエネルギーが小さい、少なくとも Al を含んだ化合物半導体から構成される p 型アクセプター不純物ドーピング開始層を設けることで、ドーピング遅れの無い p 型アクセプター不純物のプロファイルを実現でき、急峻なドーピング界面が実現できる。

【選択図】 図 4

特願 2003-333217

ページ： 1/E

出願人履歴情報

識別番号

[000005821]

1. 変更年月日

1990年 8月28日

[変更理由]

新規登録

住 所

大阪府門真市大字門真1006番地

氏 名

松下電器産業株式会社